

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2005 Thomson Derwent. All rts. reserv.

012815035

WPI Acc No: 1999-621266/ 199954

XRPX Acc No: N99-458331

Magnetic valve and method for controlling a magnetic valve

Patent Assignee: INA WAEELZLAGER SCHAEFFLER OHG (ISCH)

Inventor: SCHAEFER J

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19818126	A1	19991028	DE 1018126	A	19980423	199954 B

Priority Applications (No Type Date): DE 1018126 A 19980423

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19818126	A1		21	F16K-031/06	

Abstract (Basic): DE 19818126 A1

Abstract (Basic):

NOVELTY - A magnetic valve (1) has a coil assembly (40), a regulator for the running time of magnetic current in the coil assembly, an anchor (42) moving in relation to the coil assembly with a pole face, a pole core (44) fixed in relation to the coil assembly with a second pole face and a top stop to limit minimum spacing between pole faces to less than 0.7mm. An initial valve position corresponds to this spacing. A spring mechanism (46) generates a restoring force on the anchor.

USE - In internal combustion engines.

ADVANTAGE - This valve is lighter and needs less space. It is cost-effective, especially for use in camshaft adjusters on internal combustion engines.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows an operational cross-sectional diagram of a magnetic hydraulic control valve.

Magnetic valve (1)

Coil assembly (40)

Anchor (42)

Pole core (44)

Spring mechanism (46)

pp; 21 DwgNo 2/11

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 198 18 126 A 1

⑲ Aktenzeichen: 198 18 126.4
⑳ Anmeldetag: 23. 4. 98
㉑ Offenlegungstag: 28. 10. 99

⑤① Int. Cl.⁵:
F 16 K 31/06
F 01 L 9/04
F 15 B 13/044
G 05 D 16/14

DE 198 18 126 A 1

⑦① Anmelder:
INA Wälzlager Schaeffler oHG, 91074
Herzogenaurach, DE

⑦② Erfinder:
Schäfer, Jens, Dipl.-Ing., 91074 Herzogenaurach, DE

⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

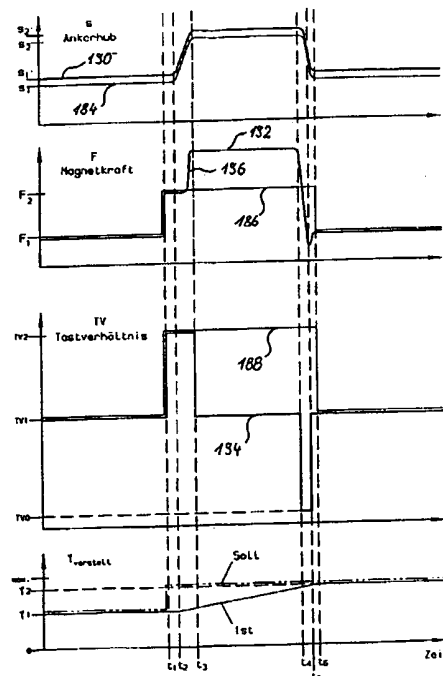
DE 42 28 045 A1
DE 34 34 168 A1
DE-OS 22 55 272
US 56 69 343 A

Prospekt: Proportional-Drosselventil NG 6,
Proportionalventile NG 6,10 der Robert Bosch
GmbH, Geschäftsbereich Hydraulik, Pneumatik,
Stuttgart, 1989, S.36;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Magnetventil und Verfahren zur Steuerung eines Magnetventils

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Magnetventil mit einer Spuleneinrichtung (40), mit einer Steuereinrichtung zur Steuerung des zeitlichen Verlaufs eines Magnetstroms in der Spuleneinrichtung (40), mit einem relativ zur Spuleneinrichtung (40) beweglich gelagerten Anker (42) mit einer ersten Polfläche, mit einem relativ zur Spuleneinrichtung (40) fest gelagerten Polkern (44) mit einer zweiten Polfläche, mit einer Hubbegrenzung zur Begrenzung der minimalen Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche auf einen Minimalwert, wobei dieser Minimalwert kleiner als 0,7 mm ist und wobei dieser minimalen Beabstandung zwischen dem Anker (42) und dem Polkern (44) ein erster Ventilschaltzustand entspricht, und mit einer Federeinrichtung (46) zur Erzeugung einer Rückstellkraft auf den Anker (42) sowie ein Verfahren zum Steuern eines Magnetventils.



DE 198 18 126 A 1

DE 198 18 126 A 1

1

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Magnetventil zur Schaltung wenigstens zweier verschiedener Schaltzustände, welches insbesondere zur Verwendung in einer Brennkraftmaschine geeignet ist, sowie ein Verfahren zur dessen Steuerung.

Hintergrund der Erfindung

Aus der DE 690 02 507 T2 ist eine elektromagnetisch betätigbare Ventilsteuerungsvorrichtung bekannt, in der ein Einlaß /Auslaßventil mit einem mit einem beweglichen Permanentmagneten gekoppelt ist, dessen beiden Pole in Bewegungsrichtung des Ventils angeordnet sind. Über eine gesteuerte Stromeinleitung und eine Mehrzahl von Erregerspulen, die jeweils einen feststehende Magnetpol umgeben, wird auf den beweglichen Permanentmagneten eine Kraft zur Ventülbewegung aufgebracht. Zum Geschlossenhalten des Ventils in unbestimmtem Zustand ist eine Feder vorgesehen. Der Öffnungsvorgang des Ventils wird in seiner Anfangsphase durch einen oberen feststehenden Elektromagneten unterstützt, der auf den beweglichen Magneten, zu Beginn der Öffnungsphase eine Kraft in Öffnungsrichtung ausübt.

Aus der DE 689 18 845 T2 ist ein Steuersystem zum Regeln der Öffnungs- und Schließzeitpunkte eines elektromagnetisch angetriebenen Ventils einer Verbrennungskraftmaschine bekannt, in dem das Ventil senkrecht zur Bewegungsrichtung eine Magnetplatte aufweist, auf die von zwei jeweils in einer Bewegungsrichtung des Ventils angeordneten Magnetpolen zur Verstellung des Ventils eine Magnetkraft aufgebracht wird, wobei die Zeitpunkte der Erregung dieser Pole von einer Einrichtung zum Verändern der Zeitpunkte vorgegeben werden.

Eine aus der DE 689 08 142 T2 bekannte Vorrichtung weist ebenfalls die aus der DE 689 18 845 T2 bekannte Anordnung von einer Magnetplatte umgebenden Polen auf. Diese bekannte Einrichtung weist ferner Antriebsregelmittel auf, die kurz vor bzw. kurz nach dem Aufsitzen des Ventils in der Ventilöffnung eine Kraft zur Verhinderung des Ventilspringens aufbringen.

Allgemein bekannt ist ferner ein Magnetventil, bei dem ein Polkern sowie ein gegenüber dem Polkern beweglicher Anker in einem Magnetfeld einer Spule angeordnet sind. Bei Annäherung des Ankers an den Polkern wirkt dabei eine zunehmende, von einer Feder aufgebrachte, Rückstellkraft auf den Anker. Die von der Spule auf den Anker aufgebrachte Kraft ist über den Verstellweg dabei konstant. Zur Verhinderung einer Abweichung von dieser Konstanz ist zwischen Anker und Polkern eine Antiklebeschleibe angeordnet, die eine Dicke von mindestens 12 mm aufweist.

Diese bekannten Magnetventile genügen für viele Anwendungen den Funktionsanforderungen, die an sie gestellt werden. Neben der Erfüllung der Funktionskriterien stellen jedoch bei vielen technischen Anwendungen der Bauraum, das Gewicht sowie die Kosten eines Magnetventils die Kriterien für dessen Auswahl dar.

Aufgabe der Erfindung

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein gewichts- und bauraumreduziertes sowie kostengünstigeres Magnetventil, insbesondere für den Einsatz in Nockenwellen-Verstellvorrichtungen an Brennkraftmaschinen, sowie ein Verfahren zum Betreiben eines derartigen Magnetventils zu schaffen.

2

Zusammenfassung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 24 gelöst.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren ist Gegenstand des Anspruchs 29, bzw. des Anspruchs 32, bzw. des Anspruchs 33, bzw. des Anspruchs 34.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

10 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, eine Magnetventilvorrichtung mit einer Spuleneinrichtung, einem Anker, einem Polkern, einer Hubbegrenzungseinrichtung, Federeinrichtung sowie mit einer Steuereinrichtung zu versehen.

Die Steuereinrichtung, die insbesondere elektronischer Art sein kann, stellt gemäß einer in ihr ermittelten und/oder gespeicherten Charakteristik einen elektrischen Strom zur Verfügung, den sie der Spuleneinrichtung, die beispielsweise eine oder mehrere Spulen aufweist, zuführt. Dieser bereitgestellte Strom kann während eines jeden Schaltvorgangs konstant sein, er kann aber auch während eines Schaltvorgangs, insbesondere hinsichtlich seiner Größe und/oder Orientierung, variieren. Er kann beispielsweise auch gemäß einem gewählten bzw. vorgegebenen bzw. ermittelten Tastverhältnis bzw. Tastgrad eingestellt werden. Jede dieser Möglichkeiten kann bei verschiedenen Schaltvorgängen bzw. wiederholten, gleichen Schaltvorgängen gewählt werden. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß die Steuereinrichtung, die erfindungsgemäß auch andere Funktionen als die Stromvorgabe bzw. -bereitstellung übernehmen kann bzw. übernimmt, nicht auf die Funktion des Steuers beschränkt ist. Insbesondere kann sie auch eine Regeleinrichtung i.S.d. DIN mitumfassen bzw. darstellen. Der Begriff "Steuern" sei i.S.d. Erfindung ohnehin weit gefaßt zu verstehen, so daß er insbesondere jeweils die Begriffe des Steuerns und Regels i.S.d. DIN umfaßt. Die Steuereinrichtung kann beispielsweise auch eine Speichereinrichtung zum Ablegen erfaßter, gespeicherter oder voreingegebenen Werte umfassen.

Infolge des durch die elektrische Spule strömenden Magnetstroms, also des elektrischen Stroms, der ein Magnetfeld bewirkt, baut sich insbesondere in der Spule ein Magnetfeld auf. Dieses Magnetfeld magnetisiert den sich wenigstens zeitweise und wenigstens teilweise in der Spule befindlichen Anker sowie den sich ebenfalls wenigstens zeitweise und teilweise in der Spule befindlichen Polkern. Anker und Polkern weisen jeweils eine dem jeweils anderen Element im wesentlichen zugewandte Polfläche auf. Infolge des Stroms bzw. des Magnetfelds werden die beiden Elemente im Bereich dieser Polflächen gegenpolig magnetisiert, so daß sie eine Anziehungskraft aufeinander ausüben. Dieser Anziehungskraft wirkt zumindest teilweise und/oder zeitweise eine von einer Federeinrichtung induzierte Kraft bzw. Rückstellkraft entgegen, die auf den gegenüber dem Polkern sowie der Spuleneinrichtung beweglich gelagerten Anker wirkt. Diese Federeinrichtung kann grundsätzlich als Zug- oder als Druckfeder beliebiger Art, also beispielsweise elektrischer, elektromagnetischer oder mechanischer Art sein. Bevorzugt ist sie als Druckfeder ausgebildet, wobei die maximale Federdruckkraft bei minimal baulich zugelassener Beabstandung zwischen dem Anker und dem Polkern aufgebracht wird. Die Feder weist eine Federkennlinie auf, die bevorzugt linearer Art ist, und im Ankerhubbereich jeder Ankerstellung bzw. -position den Kraftwert zuweist, mit dem die Feder bei dieser Ankerstellung belastet wird. Der Ankerhubbereich ist dabei die Wegstrecke, die der Anker bzw. ein Referenzpunkt des Ankers, der beispielsweise auf der ersten Polfläche des Ankers angeordnet ist, maximal überfährt, wenn der Anker zwischen den maximal beabstan-

DE 198 18 126 A 1

3

deten aller konstruktiv erreichbaren Ankerstellungen verfahren wird.

Die Hubbegrenzungseinrichtung, die beispielsweise als zwischen dem Anker und dem Polkern angeordnete Antiklebscheibe oder als ein in einem Hydraulikteil des Ventils angeordneter mechanischer Anschlag (z. B. eine auf Blocklänge gedrückte mechanische Feder) ausgeführt ist, begrenzt den Abstand, der bei Verschiebung des Ankers im Ankerhubbereich minimal zwischen dem Anker und dem Polkern auftreten kann, auf einen Minimalwert. Dieser Minimalwert ist erfindungsgemäß kleiner als 0,7 mm, vorzugsweise kleiner als 0,6 mm, vorzugsweise kleiner als 0,5 mm, vorzugsweise kleiner als 0,4 mm, vorzugsweise kleiner als 0,3 mm, vorzugsweise kleiner als 0,2 mm, vorzugsweise kleiner als 0,1 mm. Dieses gilt insbesondere auch beim Einsatz eines erfindungsgemäßen Magnetventils in einer Steuerung einer Nockenwellen-Winkelverstellereinrichtung eines Kraftfahrzeugs. Vorzugsweise ist eine bestimmte Ventilstellung geschaltet, wenn dieser minimale Abstand zwischen dem Anker und dem Polkern geschaltet ist.

Diese erfindungsgemäße Vorrichtung ist gegenüber bekannten Magnetventilen, insbesondere auch solchen, die bekannterweise in Steuerungen einer Nockenwellen-Verstellereinrichtung eines Kraftfahrzeugs eingesetzt werden, insofern vorteilhaft, als durch die geringe Beabstandung die Lage des Hubbereichs des Ankers relativ zum Polkern verschoben wird und somit das Magnetventil entsprechend dieser Verschiebung reduzierte Längenmaße aufweisen kann. Hierdurch wird der vom Magnetventil beanspruchte Bau- raum wenigstens geringfügig reduziert. Eine stärkere Bau- raumreduzierung wird darüber hinaus auch durch eine mit dieser geringen Beabstandung i.d.R. verbundenen Eigen- schaft der Magnetverhältnisse ermöglicht. So steigt die zwis- chen dem Polkern und dem Anker infolge der Bestromung der Spule wirkende Magnetkraft bei einer gewissen gerin- gen Beabstandung sprunghaft an. Die Magnetkraftcharakte- ristik, die ein bestimmter, je nach Magnetisierungsvorge- schichte ggf. veränderlicher, Zusammenhang zwischen der zwischen Anker und Polkern wirkenden Magnetkraft und dem Abstand zwischen Anker und Polkern bei einer Bestro- mung der Spule mit einem konstanten Strom ist, weist also einen sprunghaften Anstieg bei Annäherung des Ankers an den Polkern auf. U.a. wegen dieses sprunghaften Anstiegs vermeiden bekannte Magnetventile eine geringe Beabstand- ung von unter 0,7 mm durch Vorsehen einer Antiklebe- scheibe entsprechender Dicke. Diese bekannten Magnetven- tile zielen nämlich darauf ab, die Magnetkraftcharakteris- tiken bei konstanten oder annähernd konstanten Kraftwerten im Ankerstellbereich zu durchlaufen. Hierdurch und durch die Magnetisierungskennlinie (Hysterese) sowie durch die Sättigungsinduktion, d. h. durch das Verhältnis zwischen der erreichbaren Kraft und dem Werkstoffvolu- men, sind beispielsweise die in bekannten Ventilmagneten einsetzbaren Werkstoffe beschränkt.

Erfindungsgemäß wird nun die Energie bzw. Hubarbeit, die mit dem Überfahren des unterhalb des Abstand von 0,7 mm liegenden Bereichs verbunden ist, zur Ventilbetäti- gung bzw. Steuerung freigegeben. Diese Energie ist wegen des sprunghaften Kraftanstiegs in diesem Bereich gegen- über der durch das Überfahren in einem Bereich gleicher Länge mit konstanter Magnetkraft deutlich erhöht, was ver- schiedenste Möglichkeiten zur baulichen Auslegung des Magnetventils eröffnet. Durch die Nutzung der in Polkern- nähe bereitgestellten Energie wird somit der Wirkungsgrad des Magnetventils erhöht. Ferner kann der Ankerhub bei ge- genüber einem bekanntem Magnetventil unveränderten Kraft- bzw. Stromniveau erhöht werden. Dieser erhöhte An- kerhub kann wiederum derart genutzt werden, daß ein von

4

dem Magneteil angesteuerter Hydraulikteil bei gleichen Strömungsquerschnitten bzw. -volumina durchmesserredu- ziert ausgeführt oder bei gleichen Durchmessern eine er- höhte Leistungsfähigkeit (gleichen Strömungsquerschnitten bzw. -volumina) erzielt werden kann.

Vorteilhaft ist ferner, daß die erfindungsgemäße Hubbe- reichsverschiebung bei unveränderter Leistungsfähigkeit bzw. freigesetzter Hubarbeit eine Absenkung des Stromni- veaus ermöglicht. Hierdurch ist ein erfindungsgemäßes Ma- gnetventil energiesparend. Ferner wird durch eine Absen- kung des Stromniveaus wiederum die Wärmeenergie im Sys- tem verringert. Dieses eröffnet die Möglichkeit zum Ein- satz von kostengünstigeren Bauteilen bzw. Werkstoffen mit geringer Wärmebeständigkeit. Der Abstand zwischen Anker und Polkern kann bei einer abgewandelten Ausführungs- form auch negative Werte annehmen, in dem diese Bauteile z. B. teilweise aneinander vorbeigeführt werden. Diese ne- gativen Werte sind auch kleiner als die oben angegebenen positiven Werte. Besonders bevorzugt ist, den minimalen Abstand auf einen positiven Wert, inklusive Null, einzustel- len. Ein Wert von Null kann beispielsweise erreicht werden, indem der Anker und der Polkern aneinander anschlagen. Zur Vermeidung eines zu starken Anschlagens werden be- vorzugt zusätzliche Dämpf- und/oder Druckfederelemente kurz vor dem Anschlagen aktiviert.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Magnetkraftcharakteristik im An- kerhubbereich einen im wesentlichen sprunghaften Anstieg auf. Bevorzugt ist die Magnetkraftcharakteristik im Bereich des Anstiegs bzw. des Übergangs zum Anstieg stetig. Unter sprunghaft sei hier insbesondere verstanden, daß zwei im Ankerhubbereich aneinandergrenzende Intervalle des An- kerhubbereichs gleicher Länge existieren, bei denen die Dif- ferenz der durch die Magnetkraftcharakteristik den Inter- vallgrenzen des ersten Intervalls zugeordneten Magnetkraft- werten wenigstens dem 1,1-fachen, vorzugsweise wenig- stens dem 1½-fachen, vorzugsweise wenigstens dem 2-fa- chen, vorzugsweise wenigstens dem 5-fachen, vorzugs- weise wenigstens dem 10-fachen, vorzugsweise wenigstens dem 20-fachen, vorzugsweise wenigstens dem 50-fachen, vorzugsweise wenigstens dem 70-fachen, vorzugsweise wenigstens dem 100-fachen der Differenz der durch die Ma- gnetkraftcharakteristik den Intervallgrenzen des zweiten In- tervalls zugeordneten Magnetkraftwerten entspricht. Da bei- spielsweise im Falle einer stetigen Magnetkraftcharakteri- stik-Kurve mit Übergang von einem waagerechten oder an- nähernd waagerechten Kurvenabschnitt (konstante Kraft) zu einem streng monoton wachsenden bzw. steigenden Kraft- verlauf grundsätzlich durch entsprechende Intervallgrenzen- wahl jeder beliebig große Faktor in obigem Sinne zwischen den Kraftdifferenzwerten der jeweiligen Intervallgrenzen erreichbar ist, sei erwähnt, daß die Intervallgrenzen dabei vorzugsweise derart zu wählen sind, daß die Differenz der Magnetkraftwerte im zweiten Intervall vorzugsweise größer als 0,1 N, vorzugsweise größer als 0,3 N, vorzugsweise grö- ßer als 0,5 N, vorzugsweise größer als 0,7 N, vorzugsweise größer als 1 N ist. Unter einem sprunghaften Anstieg sei im übrigen eine Sprungstelle ebenso verstanden wie ein Sprungbereich.

Bevorzugt liegt eine derartige Sprungstelle bzw. ein der- artiger Sprungbereich in der Nähe des Polkerns. Zwischen der Sprungstelle und dem Polkern bzw. der Ankerstellung mit minimaler Beabstandung zum Polkern bzw. innerhalb des Sprungbereichs ist die Magnetkraftcharakteristik zum Polkern hin streng monoton fallend bzw. vom Polkern zum Anker gerichtet streng monoton fallend. Gemäß einer bevor- zugten Ausführungsform kann der Anker wenigstens drei Ankerpositionen annehmen, die jeweils mit einer Ventilstel-

DE 198 18 126 A 1

5

lung, z. B. unterschiedlich geschalteten Hydraulikverbindungen, korrespondieren. Jede dieser Ankerstellungen entspricht somit einem bestimmten Ventilschaltzustand. Unter Ankerstellung sei im Sinne der Erfindung insbesondere die Relativposition des Ankers zur Spule verstanden. Es sind jedoch auch beliebig viele Schaltstellungen möglich.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Anker, beispielsweise über einen Stößel, mit einer in einem Zylinder geführten Kolbeneinrichtung gekoppelt. In der Bewandung des Zylinders ist eine Mehrzahl von Öffnungen vorgesehen, über die jeweils eine Strömungsverbindung zwischen einer sich an der Außenoberfläche des Zylinders an die Öffnung anschließende Hydraulikleitung und dem Zylinderinneren herstellbar ist. Im Inneren des Zylinders werden über entsprechend angesteuerte Stellungen der Kolbeneinrichtung in verschiedenen Kolbeneinrichtungs-Schaltpositionen Strömungsverbindungen zwischen einzelnen Öffnungen bzw. Strömungsleitungen erzeugt (freigeschaltet) bzw. unterbrochen.

Eine derartige Ausführungsform der Erfindung eignet sich gut für den Einsatz in einer Steuervorrichtung zur Nockenwellenverstellung. Bevorzugterweise sind vier Arbeitsanschlüsse, die jeweils aus einer Anzahl von weiteren Öffnungen bestehen, zur jeweiligen Aufnahme einer Hydraulikleitung in der Zylinderbewandung vorgesehen. Durch diese Maßnahme eignet sich die Erfindung insbesondere für den Einsatz in Steuervorrichtungen zur Nockenwellenverstellung, die eine von zwei Stirnseiten jeweils zur Axialverstellung hydraulische beaufschlagbare Kolbeneinrichtung aufweist.

Bei derartigen Steuervorrichtungen schließt sich i.d.R. an jede Stirnseite jeweils eine Hydraulikkammer an, die mit jeweils einer Hydraulikleitung in Strömungsverbindung steht. Über die jeweilige Hydraulikleitung wird in die jeweilige Kammer Hydraulikfluid in ersten Zeitintervallen zu- und in zweiten Zeitintervallen abgeführt. Diese Hydraulikleitungen sind bevorzugt mit ihrem zweiten Ende jeweils an einer Öffnung in der Zylinderwand angeschlossen. An einer dritten Öffnung ist bevorzugt eine zu einer Hydraulikfluidquelle führende Strömungsleitung und an die vierte Öffnung eine zu einem Hydraulikfluid-Auffangbehälter führende Leitung angeschlossen.

Durch eine entsprechend ausgestaltete Kolbeneinrichtung wird durch diese erfindungsgemäße Ausführungsform in einer ersten Kolbenstellung eine Strömungsverbindung zwischen der ersten Kammer und der Hydraulikfluidquelle hergestellt, während gleichzeitig eine Strömungsverbindung zwischen der zweiten Kammer und dem Hydraulikfluid-Auffangbehälter hergestellt ist. In einer zweiten Stellung der Kolbeneinrichtung steht die erste Kammer mit dem Hydraulikfluid-Auffangbehälter in Strömungsverbindung, während die zweite Kammer gleichzeitig mit der Hydraulikfluidquelle in Strömungsverbindung steht. In einer dritten Stellung der Kolbeneinrichtung sind alle Strömungsverbindungen zwischen den vier Strömungsleitungen unterbrochen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist wenigstens eine der Öffnungen, insbesondere der vier Öffnungen, an der dem Anker abgewandten Stirnseite des Zylinders angeordnet, während die verbleibenden Öffnungen in der Mantelfläche des Zylinders vorgesehen sind. Bevorzugt ist die Ausbildung der Kolbeneinrichtung als Kolben mit profilierter Außenoberfläche. Die Profilierung umfaßt beispielsweise sich entlang der Kolbenachse abwechselnde Profilerhöhungen mit einem ersten, größeren Außendurchmesser und Profilvertiefungen mit einem zweiten, kleineren Außendurchmesser. Die größeren und kleineren Außendurchmesser können dabei jeweils verschiedene Maße aufweisen.

Bevorzugterweise ist die Kolbeneinrichtung wenigstens

6

teilweise als Hohlkolbeneinrichtung ausgebildet, wobei an zwei unterschiedlichen Positionen entlang der Kolbenachse jeweils wenigstens eine Öffnung in der Bewandung des Hohlkolbens vorgesehen sind, die über das Kolbeninnere verbunden sind. Insbesondere die Kombination der drei letztgenannten erfindungsgemäßen Ausführungsformen eignet sich gut für den Einsatz in einer Steuervorrichtung zu Nockenwellenverstellung oben beschriebener Art. Bei diesen besteht häufig der Bedarf, die erste Kammer mit Hydraulikfluid unter gleichzeitiger Entleerung der zweiten Kammer zu befüllen und umgekehrt. Diesem Bedarf kann beispielsweise Rechnung getragen werden, indem sich drei in parallelen Ebenen liegende Öffnungen in Richtung der Zylinderachse nebeneinander liegend mit einer gewissen Beabstandung durch die Zylinderwand erstrecken (im folgenden als Anschlüsse A, P und B bezeichnet, wobei "A" die vom Anker am weitesten beabstandete und "B" die dem Anker am nächsten liegende Öffnung ist). Eine vierte Öffnung (im folgenden als Anschluß T bezeichnet) ist in der Stirnfläche des Zylinders vorgesehen. Die außen liegenden der drei im Zylindermantel angeordneten Öffnungen erstrecken sich in der Zylinderinnenbewandung in eine nutförmige Vertiefung der Zylinderinnenwand.

Der Kolben weist, von der durchbohrten Stirnseite aus betrachtet, eine Außenprofilierung wie folgt auf: Am Kolbendendabschnitt ist eine Profilvertiefung mit wenigstens einer sich in das Kolbeninnere erstreckenden Öffnung vorgesehen (im folgenden Abschnitt V). Hieran schließt sich eine Profilerhöhung an (im folgenden Abschnitt W), deren Außendurchmesser im wesentlichen dem Zylinderinnendurchmesser – abzüglich eines geringen Spiels – entspricht. Nachfolgend ist eine Profilvertiefung angeordnet (im folgenden Abschnitt X), dem eine Profilerhöhung (im folgenden Abschnitt Y) sowie ein Abschnitt mit sich in das Zylinderinnere erstreckenden Bohrungen folgt (im folgenden Abschnitt Z).

In einer ersten Schaltposition überdeckt der Abschnitt V wenigstens teilweise den Anschluß A, während der Abschnitt X jeweils wenigstens teilweise die Anschlüsse P und B überdeckt, so daß Anschluß A mit Anschluß T sowie Anschluß P mit Anschluß B in Strömungsverbindung steht. In einer zweiten Schaltposition wird Anschluß A komplett von Abschnitt W, Anschluß P komplett von Abschnitt X sowie Anschluß B komplett von Abschnitt X überdeckt, so kein Anschluß mit einem anderen in Strömungsverbindung steht. In einer dritten Schaltposition überdeckt der Abschnitt X jeweils wenigstens teilweise die Anschlüsse A und P, während Abschnitt Z den Anschluß B wenigstens teilweise überdeckt. In dieser Schaltposition ist zwischen den Anschlüssen A und P sowie zwischen den Anschlüssen T und B jeweils eine Strömungsverbindung hergestellt. Diese unterschiedlichen Schaltpositionen werden über eine Ankerverstellung angesteuert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind der Anker und der Polkern von einer einzigen Spule jeweils wenigstens teilweise konzentrisch umgeben. Der Polkern ist dabei beispielsweise zwischen der Kolbeneinrichtung und dem Anker angeordnet, wobei die Verbindung zwischen Anker und Kolbeneinrichtung über einen den Polkern durchstoßenden Stößel hergestellt wird. Bevorzugt ist auch die Anordnung des Polkerns auf der der Kolbeneinrichtung abgewandten Seite des Ankers.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist die Spuleneinrichtung bzw. die Spule weniger als 550, vorzugsweise weniger als 540, vorzugsweise weniger als 530, vorzugsweise weniger als 500, vorzugsweise weniger als 470, vorzugsweise weniger als 460, vorzugsweise weniger als 450, vorzugsweise weniger als 440,

DE 198 18 126 A 1

7

vorzugsweise weniger als 430, vorzugsweise weniger als 400 Stromwindungen auf. Diese gegenüber bekannten Anordnungen geringeren Stromwindungen werden durch die erfindungsgemäß verbesserte Ausnutzung der Hubarbeit ermöglicht.

Erfindungsgemäß lassen sich somit auch die Abmaße der Ventilmagneten, bzw. der Spuleneinrichtungen bzw. der Spulen verringern. So können diese beispielsweise einen Durchmesser von 25 mm bei einer Länge bzw. Höhe von 45 mm aufweisen. Die in bekannten Magnetventilen vorhandenen Abmaße liegen bei gleicher Leistungsfähigkeit etwa bei 30 mm (Durchmesser) bzw. 45 mm. Hierdurch wird eine Bauraumreduzierung ermöglicht.

In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung korrespondiert mit den Extrempositionen des Ankers, also den Positionen in denen der Abstand zwischen dem Anker und dem Polkern maximal bzw. minimal wird, jeweils eine Schaltstellung. Bevorzugt liegt bei einer weiteren Ankerstellung, die zwischen diesen Extremstellungen, beispielsweise im wesentlichen mittig, liegt eine weiteren Schaltstellung vor.

In weiterer bevorzugter Ausführung der Erfindung weist die Steuereinrichtung einen Signalgeber auf. Dieser Signalgeber beaufschlagt zur Verstellung des Ankers in eine erste Endposition bzw. einen ersten Schaltzustand die Spule mit einem Strom, der derart groß ist, daß während der infolge dieses Stroms bewirkten Ankerverstellung die Magnetkraftcharakteristik stets derart ist, daß den durchlaufenen Punkten des Ankerstellweges Magnetkraftwerte zugeordnet sind, die größer als die Federkraft sind, die innerhalb des Ankerhubbereichs maximal auf den Anker wirkt bzw. wirken kann (erster Federkennpunkt). Der Anker wird während dieser Verstellung gegen die (zunehmende) Federkraft bewegt, so daß die Feder mit zunehmendem Druck belastet wird. Dadurch, daß die Magnetkraftwerte der Magnetkraftcharakteristik hierbei während des gesamten Stellvorgangs oberhalb der maximal auf den Anker wirkenden Federkraft liegen, wird eine zügige Verstellung des Ankers in die angestrebte Ankerposition, die einem Ventilschaltzustand entspricht, ermöglicht bzw. erreicht. Hierdurch schaltet das Ventil relativ schnell, so daß die Totzeiten des Systems relativ gering sind. Die Totzeit kann durch weitere Übererregung, also durch Erhöhung der Stromstärke in der Spule, weiter reduziert werden. So kann beispielsweise bei Verwendung einer Feder, die den Anker im Ankerhubbereich maximal mit 12 N belastet, eine Stromstärke von 2 Ampere auf die Spule gegeben werden, wodurch beispielsweise die auf den Anker wirkenden Magnetkräfte oberhalb von 13 N liegen. Eine Erhöhung dieser Stromstärke auf 3 Ampere läßt die Untergrenze der auf den Anker wirkenden Magnetkräfte entsprechend ansteigen, so daß die auf den Anker wirkende resultierende Kraft (z. B. für jede Position: jeweilige Magnetkraft gemindert um die jeweilige Federückstellkraft) vergrößert wird und somit der Anker schneller seine Zielposition erreicht. Diese schnelle Ventilschaltung bewirkt beispielsweise bei Einsatz in einer Steuerungsvorrichtung zur Verstellung der Nockenwellenverdrehwinkels eine schnelle, angestrebte Winkelverstellung.

Entsprechend beaufschlagt der Signalgeber die Spule zur Verstellung des Ankers in die zweite Endposition, die am entgegengesetzten Ende des Ankerhubbereichs angeordnet ist, mit einer Stromstärke bzw. Stromcharakteristik, die mit einer Magnetkraftcharakteristik korrespondiert, deren Kraftwerte bevorzugt im gesamten Ankerhubbereich kleiner als die kleinste von der Feder auf den Anker im Ankerhubbereich ausgeübten Kraft (zweiter Federkennpunkt) ist. Analog zur obigen Darstellung ist die während der Ankerverstellung auf den Anker wirkende resultierende Kraft ins-

8

besondere von dem jeweiligen Kraftüberschuß der Federkraft gegenüber der Magnetkraft geprägt. Eine rasche Verstellung wird ermöglicht. Die Stromstärke kann beispielsweise bei minimaler Federbelastung von 1 N 0 Ampere oder 0,2 Ampere betragen. Zur Erreichung der maximalen Verstellgeschwindigkeiten wird der Magnet also bevorzugt oberhalb bzw. unterhalb der vorgenannten (Feder)Kennpunkte betrieben. Der Signalgeber beaufschlagt zur Verstellung bzw. zum Halten des Ankers in eine bzw. in einer Mittelposition, die einem Ventilschaltzustand entspricht, die Spule mit einer bzw. wenigstens einer dritten Stromcharakteristik. Dieser dritten bzw. diesen dritten Stromcharakteristiken entspricht wiederum jeweils eine dritte Magnetkraftcharakteristik. Diese Magnetkraftcharakteristiken weisen jeweils einen Regelbereich auf, der einer bestimmten Strecke auf dem Ankerhubbereich entspricht, innerhalb dem bzw. in dessen Mitte sich der einzustellende Kraftwert befindet. Die angestrebte Position wird in einem Regelprozeß von einem Regler detektiert und eingestellt. Dabei werden Stromstärken aus einem vorgegebenen Stromstärkenintervall, wie beispielsweise zwischen 0,9 und 1,3 Ampere verwendet.

Der Regler lernt dabei bevorzugt die den jeweiligen Krafthysteresen im Ankerhubbereich entsprechenden Werte und stellt entsprechend den Strom zum Halten bzw. zum Erreichen der Mittelposition bzw. zur Kompensation nach. Das Nachstellen erfolgt beispielsweise durch eine Reduzierung oder eine Erhöhung des Stroms. Die Regelung bzw. der Regler erhöht die Flexibilität eines Magnetventils. Die Erfindung weist somit den Vorteil auf, daß die Kraftcharakteristiken bzw. -hysteresen erfindungsgemäß nicht auf konstante Kraftwerte bzw. schmale Hysteresen beschränkt sind. Dieses eröffnet mehr Freiheiten bei der Magnetauswahl hinsichtlich seiner Gestaltung bzw. seines Materials, was sich beispielsweise auf den Magnetpreis günstig auswirkt.

Erfindungsgemäß weisen die Magnete bzw. Anker beispielsweise im Bereich des Regelbereichs eine Krafthysteresen auf, die größer als 1 N, vorzugsweise größer als 1,2 N, vorzugsweise größer als 1,3 N, vorzugsweise größer als 1,5 N, vorzugsweise größer als 1,8 N, vorzugsweise größer als 2 N, vorzugsweise größer als 2,5 N, vorzugsweise größer als 3 N ist. Dieses beschränkt allerdings die Erfindung nicht auf Krafthysteresen, die größer als 1 N sind. Auch Krafthysteresen, die kleiner als 1 N sind, können eingesetzt werden bzw. auftreten. Hinsichtlich der Steigungswerte der Magnetkraftcharakteristiken im Regelbereich wird erfindungsgemäß bevorzugt eine Einengung bzw. Beschränkung vermieden. So kann die Magnetkraftcharakteristik im Regelbereich beispielsweise Steigungen aufweisen, die betragsmäßig wenigstens teilweise größer als 0,2 N/mm, vorzugsweise größer als 0,3 N/mm, vorzugsweise größer als 0,5 N/mm, vorzugsweise größer als 0,7 N/mm, vorzugsweise größer als 1 N/mm, vorzugsweise größer als 1,5 N/mm, vorzugsweise größer als 2 N/mm, vorzugsweise größer als 3 N/mm, vorzugsweise größer als 4 N/mm sind. Aber auch Steigungen zwischen 0 und 0,2 N/mm können vorliegen.

Gemäß einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der Erfindung erfaßt eine Erfassungseinrichtung, die beispielsweise von der Steuereinrichtung und/oder der Regeleinrichtung umfaßt ist, die Abhängigkeit zwischen eingestellten Stromwerten und den sich bei diesen im Regelbereich einstellenden Magnetkraftcharakteristiken in einem lernenden Prozeß. Bevorzugt erfaßt die Erfassungseinrichtung die relative Lage der im Regelbereich angeordneten Kennlinienstücke der Magnetkraftcharakteristik zum Magnetkraftmaximum bzw. zum ersten Kennfeldpunkt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist eine Maximalstrombegrenzung zur Begren-

zung des in die Spule einleitbaren Stroms vorgesehen. Diese ist beispielsweise als Spannungsbegrenzung ausgeführt. Die Maximalstrombegrenzung dient der Vermeidung von thermischer Überbelastung und somit beispielsweise zum Schutz des Magneten vor (thermischer) Ermüdung. Sie orientiert sich bevorzugt an der für das System zulässigen thermischen Verlustleistung. Beispielsweise können Temperatursensoren bzw. ein Wicklungswiderstandserfassung unterstützend vorgesehen sein. Die Strombegrenzung kann auch gemäß einer vorgegebenen Charakteristik erfolgen. Beispielsweise können Stromstärkewerte (z. B. 2,5 Ampere) vorgegeben sein, die innerhalb eines vorgegebenen Zeitintervalls (z. B. 11 s) maximal für eine bestimmte Pulsdauer (z. B. 1,2 s) bzw. Pulsgesamtdauer (= Summe der Pulsdauern) geschaltet werden dürfen.

Das erfindungsgemäße Ventil läßt sich in einer beliebigen hydraulisch betätigbaren Vorrichtung zur Steuerung der Drehwinkelverstellung einer Nockenwelle eines Kraftfahrzeugs einsetzen. Dabei wird die Zu- bzw. Abfuhr von Hydraulikfluid durch das erfindungsgemäße Ventil gesteuert.

Die Aufgabe wird ferner gelöst durch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Verstellen der Schaltzustände eines Magnetventils, bei dem eine Spule gemäß einer ersten Stromcharakteristik bestromt wird. Durch dieses Bestromen wird einerseits eine elektromagnetische Kraft auf einen Anker hervorgerufen und andererseits wenigstens zeitweise ein Kraft- und/oder Energiespeicher betankt. Die auf den Anker wirkende Magnetkraft, die wenigstens teilweise vom sich durch das Bestromen der Spule aufbauenden Magnetfeld bedingt ist, bewegt den Anker in Richtung einer ersten Ventilposition bzw. in eine erste Ventilposition. Der Anker bewegt sich dabei vorzugsweise gegen eine Rückstellkraft, die besonders bevorzugt mit zunehmender Ankerbewegung anwächst.

Infolge der Bestromung bzw. aufgrund der Tatsache, daß der Anker im Magnetfeld der Spule angeordnet ist, bildet der Anker zwei unterschiedliche Pole aus. Die Kraft auf den Anker wird dabei – strenggenommen – über diese Magnetisierung nur indirekt durch die Spule aufgebracht. Ein die Kraft auf den Anker direkt bewirkender Gegenpol, der – vorzugsweise entgegengesetzt gepolt – einem der Ankerpole gegenübersteht, wird bevorzugt dadurch magnetisch ausgebildet, daß er sich auch im Magnetfeld der Spule befindet.

Durch die Bestromung wird wenigstens teilweise gleichzeitig ein Kraft- und/oder Energiespeicher betankt. Der Begriff des Betankens sowie der Begriff des Kraft- bzw. Energiespeichers ist hierbei weit gefaßt zu verstehen. So ist hierunter beispielsweise die Schaffung eines wie auch immer gearteten Energiezustands, beispielsweise eines oder mehrerer Bauteile, zu verstehen, der zu einem bestimmten Zeitpunkt selbst oder unter Aufwendung von Aktivierungsenergie in einen zweiten Energiezustand unter Freisetzung von Energie umklappt, wobei die freigesetzte Energie wenigstens teilweise nicht-thermischer Art ist und wobei die freigesetzte Energie nicht-thermischer Art einen höheren Energiegehalt hat als die ggf. aufgewendete Aktivierungsenergie. Bevorzugt speichert dieser Energiespeicher elektrische bzw. magnetische bzw. elektromagnetische Energie. Bevorzugt ist auch die Speicherung mechanischer Energie sowie jeder Kombination der vorgenannten Energieformen in einem gemeinsamen oder verschiedenen Speichern. Beispielsweise wird die durch das Bestromen aufgewendete Energie wenigstens teilweise als magnetische bzw. elektromagnetische Energie im Anker und im Polkern gespeichert.

Unter Abrufen bzw. Ausnutzen dieser gespeicherten Energie wird anschließend der Anker in einer Ventilposition gegen eine Gegenkraft gehalten. Bevorzugt wird zusätzlich

durch Bestromen der Spule weitere Energie aufgewendet, wobei die durch das Bestromen aufgewandte Energie bevorzugt geringer ist als die Energie ist, die ohne vorgenanntes Abrufen aufzuwenden wäre. Dieses Bestromen erfolgt gemäß einer zweiten Stromcharakteristik, deren Energieniveau geringer als das der ersten Stromcharakteristik ist. Das Halten des Ankers kann unter Egalisierung der Gegen- bzw. Rückstellkraft oder unter Aufwendung einer die Gegenkraft übersteigenden Kraft erfolgen, wobei im letztgenannten Fall bevorzugt beispielsweise über einen Anschlag ein Kräftegleichgewicht gesichert wird.

Gemäß einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Spule mit einer dritten Stromcharakteristik bestromt, nachdem der Anker für eine vorbestimmte Zeit in seiner Position gehalten wurde. Unter Wirkung der Gegen- bzw. Rückstellkraft folgt der Anker dabei der durch diese Kraft vorgegebenen Richtung. Diese dritte Stromcharakteristik weist ein geringeres Energieniveau als die zweite auf und stellt sicher, daß der Anker auf Grund der Remanenz des Magneten nicht unerwünscht lange seine Position beibehält bzw. sich unerwünscht langsam aus dieser entfernt.

Anschließend wird durch Bestromen einer vierten Stromcharakteristik der Anker bevorzugt in seiner Ausgangslage gehalten bzw. durch die Stromstärke der Charakteristik sichergestellt, daß sich der Magnet in der Ausgangslage wieder einpendelt bzw. diese annimmt. Es herrscht hier im wesentlichen ein Gleichgewicht zwischen der Magnetkraft und der (reduzierten) Rückstell- bzw. Federkraft.

Es sei darauf hingewiesen, daß das Zusammenwirken der einzelnen erfindungsgemäßen Merkmale in jeder beliebigen Kombination bevorzugt ist. Insbesondere sind auch die durch die unabhängigen Ansprüche offenbarten Merkmalskombinationen unter Weglassung eines oder mehrerer Merkmale jeweils bevorzugt. Die erfindungsgemäßen Verfahren sind auch in Kombination bevorzugt.

Es sei ferner darauf hingewiesen, daß die Ausführungen zu allen bekannten Anordnungen, die sich nicht auf bestimmte Druckschriften beziehen, in erster Linie dem Anmelder bzw. dem Erfinder bekannt sind, so daß sich der Erfinder Schutz für diese vorbehält, sofern sie nicht auch der Öffentlichkeit bekannt sind. So behält er sich insbesondere vor, die obig durch konkrete Werte benannten Minimalwerte für die minimale Beabstandung auf größere Werte, wie beispielsweise 0,8 mm, 0,9 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,5 mm 1,7 mm, 2 mm, 2,5 mm, 3 mm oder größere bzw. Zwischenwerte zu erstrecken.

Für den Fachmann ist ersichtlich, daß über die hier dargestellten Ausführungsbeispiele der Erfindung hinaus eine Vielzahl weiterer Modifikationen und Ausführungen denkbar sind, die von der Erfindung erfaßt sind. Die Erfindung beschränkt sich insbesondere nicht nur auf die hier dargestellten Ausführungsformen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend anhand beispielhafter, nicht beschränkender Ausführungsformen näher erläutert. Die dazugehörigen Zeichnungen zeigen dabei in:

Fig. 1 Magnetkraftcharakteristiken eines bekannten, zur Ventilsteuerung verwendeten Magneten;

Fig. 2 eine schematisch dargestellte, beispielhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetventils zur Steuerung eines Hydrauliksystems in einer ersten Ventilstellung;

Fig. 3 das erfindungsgemäße Magnetventil gem. Fig. 2 in einer zweiten Ventilstellung;

Fig. 4 das erfindungsgemäße Magnetventil gem. Fig. 2 in einer dritten Ventilstellung;

DE 198 18 126 A 1

11

Fig. 5 eine beispielhafte Verwendung eines erfindungsgemäßen Magnetventils in schematischer Darstellung;

Fig. 6 eine graphische Darstellung erfindungsgemäßer Magnetkraftcharakteristiken im Vergleich zu einer bekannten Magnetkraftcharakteristik;

Fig. 7 beispielhaft erfindungsgemäße Anordnungen von Kennlinienverläufen, denen ein erfindungsgemäßer Magnet beim Ansteuern bzw. Halten der Mittelposition des Ankers folgen kann bzw. folgt, in schematischer Darstellung;

Fig. 8 beispielhafte erfindungsgemäße Anordnungen von Kennlinienverläufen zur Ansteuerung bzw. zum Halten des Ankers in Mittelposition in schematischer Darstellung;

Fig. 9 beispielhafte erfindungsgemäße Krafthysteresen zur An-Steuerung bzw. zum Halten des Ankers in Mittelposition in schematischer Darstellung;

Fig. 10 Magnetkraftcharakteristiken eines erfindungsgemäßen Magnetventils und

Fig. 11 den zeitlichen Verlauf verschiedener Systemgrößen eines Magnetventils bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. beim Betrieb eines erfindungsgemäßen Magnetventils im Vergleich zu den entsprechenden bekannten Verläufen.

Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 zeigt die Magnetkraftcharakteristiken 12, 14 eines bekannten, zur Ventilsteuerung verwendeten Magneten. Diese sind in einem Kraft (F)-Ankerweg (s)-Diagramm dargestellt. Der vom Anker 42 überfahrbare Bereich ist durch den Doppelpfeil 16 dargestellt. Die Magnetkraftcharakteristiken 12, 14 sind derart gewählt, daß sie innerhalb des vom Anker 42 überfahrbaren Bereichs im wesentlichen durch konstante Kraftwerte bestimmt sind. Sprünge 18, 20, 22, 24 in den Magnetkraftcharakteristiken 12, 14 sind außerhalb des vom Anker 42 überfahrbaren Bereichs angeordnet. Die Krafthysteresen 26, 28, d. h. die Unterschiede der Magnetkraft zwischen Vorwärts- und Rückwärtshub sind schmal, möglichst weit unter 1 N liegend, ausgebildet. Die Auswahl schmaler Krafthysteresen 26, 28, d. h. Hysteresen mit geringen Kraftdifferenzen im Vorwärts- und Rückwärtshub, sowie die Konstanz der Kraftwerte im vom Anker 42 überfahrbaren Bereich stehen im Vordergrund, wobei die Lage der die Federkennlinie 30 an den Grenzen 32, 34 des vom Anker 42 überfahrbaren Bereichs begrenzenden Kennpunkte 36, 38 im Hintergrund steht.

Die Fig. 2, 3 und 4 zeigen eine beispielhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetventils 1 zur Steuerung eines Hydrauliksystems in einer ersten, zweiten bzw. dritten Ventilstellung. Zusätzlich zeigen die Fig. 2 bis 4 jeweils ein Ersatzschaltbild der dargestellten Ventilstellung. Das in diesen Zeichnungen dargestellte erfindungsgemäße Magnetventil 1 weist eine Spule 40 auf, die sich konzentrisch um einen Teil des Ankers 42 sowie des Polkerns 44 erstreckt. Die Spule 40 wird von einer nicht dargestellten Steuereinrichtung mit Strom gemäß verschiedenen Charakteristiken versorgt. Das sich bei einer Bestromung der Spule 40 jeweils aufbauende Magnetfeld magnetisiert den Anker 42 sowie den Polkern 44. In Abhängigkeit von der Stromstärke bzw. der Magnetkraftcharakteristik bzw. der Axialposition des gegenüber der Spule 40 sowie dem Polkern 44 beweglich gelagerten Ankers 42 baut sich eine Anziehungskraft bestimmter Größe zwischen dem Anker 42 und dem Polkern 44 auf. Dieser Anziehungskraft wirkt eine von der (Druck)Feder 46 aufgebrachte Kraft entgegen. Die Feder 46 ist in der in Fig. 2 dargestellten zweiten Endlage des Ankers 42 (maximale Verschiebung nach rechts) am geringsten und in der in Fig. 4 dargestellten zweiten Endlage des Ankers 42 (maximale Verschiebung nach links) am stärksten belastet

12

(höchste Federkraft). Über den den Polkern 44 durchdringenden Stößel 48 ist der Anker 42 fest mit dem Hohlkolben 50 gekoppelt, so daß dieser der Bewegung des Ankers 42 folgt. Der Hohlkolben 50, der in dem Zylinder 52 aufgenommen ist, weist eine profilierte Außenoberfläche 54 auf. Diese Profilierung ist derart, daß sich Profilvertiefungen 56, 58 mit geringerem Außendurchmesser und Profilerhöhungen 60, 62 mit größerem Außendurchmesser in Achsrichtung im wesentlichen abwechseln. Von dem dem Anker 42 abgewandten Ende 64 des Hohlkolbens 50 weist die Außenoberfläche 54 des Hohlkolbens 50 aus betrachtet in Reihenfolge auf:

- einen ersten als Profilvertiefung mit sich vom Außenumfang des Hohlkolbens 50 in dessen inneren Kanal 66 erstreckenden Öffnungen 68 ausgebildeten Bereich 56;
- einen zweiten als Profilerhöhung ausgebildeten Bereich 60;
- einen dritten als Profilvertiefung ausgebildeten Bereich 58;
- einen vierten als Profilerhöhung ausgebildeten Bereich 62 und
- einen fünften, mit sich von der Außenoberfläche des Hohlkolbens 50 in dessen inneren Kanal 66 erstreckenden Öffnungen 70 versehenen, Bereich 72.

Die Bewandung 74 des Zylinders 52 weist drei sich von der Außenoberfläche 76 des Zylinders 52 in das Zylinderinnere 78 erstreckende Öffnungen 80, 82, 84 auf, die die Anschlüsse A, P und B bilden bzw. Anschlüsse A, P und B aufnehmen können, wobei diese Anschlüsse die Koppelstellen zu nicht dargestellten Hydraulikleitungen bilden. Im Bereich der ersten 80 und dritten Öffnung 84 ist in die Zylinderinnenoberfläche 86 des Zylinders 52 jeweils eine ringförmige Nut 88, 90 eingelassen, die jeweils eine bessere Weiterleitung von durch die Öffnungen 80 bzw. 84 ein- bzw. ausströmendem Fluid ermöglicht. Ein vierte Öffnung 92 im Zylinder 52 erstreckt sich von der Außenoberfläche 76 des Zylinders 52 an der dem Anker 42 abgewandten Stirnseite 94 des Zylinders 52 in dessen Zylinderinneres 78 und stellt einen Anschluß T dar bzw. dient der Aufnahme eines Anschlusses T, der die Verbindung zu einer nicht dargestellten Strömungsleitung darstellt.

Die Antiklebescheibe 96 ist im Zwischenbereich zwischen dem Polkern 44 und dem Anker 42 angeordnet und weist in Richtung der Achse 98 eine Dicke von – hier – 0,8 mm auf. Grundsätzlich ist diese Dicke erfindungsgemäß kleiner als 7 mm. Diese Dicke stellt einen Minimalwert für die minimale Beabstandung zwischen dem Anker 42 und dem Polkern 44 dar. Dieser Minimalwert wird in der Darstellung gemäß Fig. 4 erreicht. Hier liegt der Anker 42, sowie der Polkern 44, an der Antiklebescheibe 96 an, so daß Anker 42 und Polkern 44 eine der Dicke der Antiklebescheibe 96 entsprechende minimale Beabstandung aufweisen, also hier 0,8 mm. In dieser Schaltstellung ist der Anschluß A über den dritten Bereich 58 mit dem Anschluß P sowie der Anschluß B über den fünften Bereich 72, den inneren Kanal 66 sowie den ersten Bereich 56 mit dem Anschluß T verbunden.

In der zweiten, in Fig. 2 dargestellten Endstellung, in der der minimale Abstand zwischen Anker 42 und Polkern 44 maximal ist, ist der Anschluß B über den dritten Bereich 58 mit dem Anschluß P und der Anschluß A über den ersten Bereich 56 mit dem Anschluß T verbunden.

In der in Fig. 3 dargestellten Mittelposition nimmt der minimale Abstand zwischen dem Anker 42 und dem Polkern 44 einen zwischen den vorgenannten Extremwerten liegen-

den Wert an. Die Strömungsverbindungen zwischen den Anschlüssen A, P, B und T sind unterbrochen.

Fig. 5 zeigt eine beispielhafte Verwendung eines erfindungsgemäßen Magnetventils 1. Das gesteuerte bzw. geregelte Magnetventil 1 steuert die Strömungsverbindungen zwischen der Fluidquelle 100 bzw. dem Fluidauffangbehälter 102 und zwei Kammern 104, 106, die zur Aufnahme eines Fluids zur Beaufschlagung des Hydraulikkolbens 108 bestimmt sind. Entsprechend dieser Beaufschlagung wird die Axialposition des Hydraulikkolbens 108 verändert, bzw. umgekehrt.

Fig. 6 zeigt eine graphische Darstellung erfindungsgemäßer Magnetkraftcharakteristiken im Vergleich zu einer bekannten Magnetkraftcharakteristik. In dem in Fig. 6 dargestellten Koordinatenkreuz ist die Magnetkraft F über dem Ankerhub s aufgetragen. Eine erste Kurve 110 repräsentiert beispielhaft eine in bekannten Magnetventilen eingesetzte Magnetkraftcharakteristik. Der zur Ankerverstellung genutzte Teil dieser Magnetkraftcharakteristik ist durch die rechts der die Lage der bzw. die Ankerhubbegrenzung symbolisierenden Linie 112 angeordneten Teilkurve 114 der Kurve 110 dargestellt. Das Integral der Kurve 114 zwischen den Punkten (Ankerhüben) 116 und 118 entspricht der zur Ankerverstellung nutzbaren Hubarbeit in bekannten Magnetventilen. Dieses Integral entspricht der Fläche 119 unter der Kurve 114 im vorerwähnten Bereich, die hier durch die vertikale Schraffur verdeutlicht ist.

Die Kurven 120 und 122 symbolisieren erfindungsgemäß eingesetzte Magnetkraftcharakteristiken, die zur Ankerverstellung im wesentlichen im Bereich zwischen den Punkten 124 und 126 genutzt werden. Die Verschiebung der linken Begrenzung gegenüber dem in bekannten Magnetventilen nach links begrenzenden Punkt 126 nach links entspricht der erfindungsgemäßen Reduzierung des minimalen Abstands zwischen dem Anker 42 und dem Polkern 44.

Die durch die Rechtsschraffur (von links unten nach rechts oben) überdeckte Fläche 128 (= Integral der Kurve 120 in den Grenzen 124, 126) repräsentiert die bei Einsatz der Magnetkraftcharakteristik gemäß Kurve 120 bereitgestellte Hubarbeit; die durch die Linksschraffur überdeckte Fläche 130 (= Integral der Kurve 122 in den Grenzen 124, 126) repräsentiert die bei Einsatz der Magnetkraftcharakteristik gemäß Kurve 122 bereitgestellte Hubarbeit. Die Flächen 119 und 128 weisen einen gleichen Flächeninhalt auf (d. h. gleiche zur Ankerverstellung bereitgestellte Energie). Wie aus dem Vergleich der Kurven 114 und 120 ersichtlich ist, arbeitet die erfindungsgemäß eingesetzte Magnetkraftcharakteristik jedoch auf einem geringeren Kraftniveau des Magneten und mit verminderten mittlerem Magnetstrom. Dieses kann konstruktiv erfindungsgemäß beispielsweise zur Verringerung der in der Spule verwendeten Kupfermasse oder zur eine Verkleinerung der Bauweise des Magneten (z. B. Verminderung der Amperewindungszahl) genutzt werden. Diese Vorteile sind auf die verminderte Beabstandung zwischen Anker 42 und Polkern 44 zurückzuführen, wodurch der starke Kraftanstieg – symbolisiert durch das Bezugszeichen 132 – der Magnetkraftcharakteristik genutzt wird, in dem mindestens ein Arbeitspunkt des Magneten in diesen Bereich verlagert wird.

Bei einer erfindungsgemäßen Magnetkraftcharakteristik gemäß Kurve 122 ist die nutzbare Hubarbeit gegenüber der bekannten Magnetkraftcharakteristik gemäß Kurve 114 vergrößert (Fläche 130 ist größer als Fläche 119). Bei gegenüber bekannten Magneten unveränderter Baugröße des Magneten führt dieses zu einer verminderten Wärmebelastung des Magneten, da der mittlere Magnetstrom erfindungsgemäß vermindert werden kann. Die verminderte Wärmebelastung ermöglicht den erfindungsgemäßen Einsatz einfache-

rer und kostengünstigerer Bauteile (z. B. Lagerungen), da durch das verminderte Temperaturniveau geringere Anforderungen an die Toleranzen sowie die Temperaturfestigkeit der Bauteile gestellt werden. Bei Beibehaltung des Stromniveaus läßt sich der Hubbereich um die Strecke 134 vergrößern. Die konstruktiven, erfindungsgemäßen Maßnahmen können einzeln oder in qualitativer Kombination genutzt werden. Die Magnetkraftcharakteristiken beziehen sich jeweils auf eine Bestromung der Spule mit konstanter Stromstärke.

Fig. 7 zeigt beispielhaft erfindungsgemäße Anordnungen von Kennlinienverläufen, denen ein erfindungsgemäßer Magnet beim Ansteuern bzw. Halten der Mittelposition des Ankers 42 folgen kann bzw. folgt, in schematischer Darstellung. Diese beispielhaften Kennlinienverläufe 136, 138, 140 sind in einem Koordinatensystem eingezeichnet, das von der Magnetkraft F und dem Anker- bzw. Ventilhub s aufgespannt wird. Wie aus diesen Verläufen ersichtlich ist, variieren hier die Regelbereiche der einzelnen Kennlinienverläufe 136, 138, 140 bzw. die im Regelbereich angeordneten Teil-kennlinien im Ankerhubbereich 168 hinsichtlich ihrer Lage zum genutzten Magnetkraftmaximum 141, das dem ersten Kennfeldpunkt entspricht, also dem Kennlinienpunkt der nicht dargestellten Feder 46 im Ankerhubbereich 168, bei dem die Feder 46 maximal auf Druck belastet ist, variieren. Diese Variation drückt sich insbesondere in einer Verschiebung der Regelbereiche in Richtung der Ankerhubachse aus. Dieses ist hier für den der Kennlinie 138 zugeordneten Regelbereich 144 sowie den der Kennlinie 136 zugeordneten Regelbereich 142 verdeutlicht. Mit der Verschiebung entlang der Ankerhubachse geht eine veränderte Lage gegenüber dem genutzten Magnetkraftmaximum 141 einher. Die Kennlinien 136, 138, 140 sind jeweils stetig im Regelbereich. Der Regelbereich überdeckt zwischen 25% und 45%, vorzugsweise 30%, des Ankerhubs bzw. Ankerhubbereichs 168.

Ferner ist ein Regler zur selbständigen Adaption der Lagen der innerhalb der jeweiligen Regelbereiche angeordneten Kennlinienstücke vorgesehen. Dieser Regler arbeitet erfindungsgemäß beispielsweise gemäß einem Regelalgorithmus mit Mittellagenadaption.

Fig. 8 zeigt beispielhafte erfindungsgemäße Kennlinienverläufe zur Ansteuerung bzw. zum Halten des Ankers 42 in Mittelposition in schematischer Darstellung. Diese beispielhaften Kennlinienverläufe 146, 148, 150 sind in einem Koordinatensystem eingetragen, das von der Magnetkraft F und dem Anker- bzw. Ventilhub s aufgespannt wird. Wie aus diesen Verläufen ersichtlich ist, sind die Kennlinienverläufe 146, 148, 150 – im Gegensatz zu bekannten Kennlinienverläufen – im Regelbereich 152 nicht auf waagerechte Kennlinien konstanter Kraft beschränkt. Die Kennlinien 146, 148, 150 können im Regelbereich 152 beliebige Steigungen annehmen, die gleich Null (nicht dargestellt), positiv oder negativ sein können. Der den Kennlinienverläufen 146, 148, 150 zugeordnete Regelbereich 152 ist hier für alle dieser Kennlinienverläufe 146, 148, 150 identisch, wobei die Kennlinienverläufe 146, 148, 150 innerhalb des Regelbereichs 152 stetig sind, so daß eine lernende Regelstrategie zur Erfassung der Lagen der Kennlinien ermöglicht wird. Ein lernender, nicht dargestellter, Regler lernt die Lage der Kennlinien im Regelbereich. Bevorzugt ist auch eine Kombination mit der Darstellung bzw. den Merkmalen gemäß Fig. 7.

Fig. 9 zeigt beispielhafte erfindungsgemäße Krafthysteresen 154, 156 der Magnetkraftcharakteristiken 158, 160 zur Ansteuerung bzw. zum Halten des Ankers 42 in Mittelposition in schematischer Darstellung. Diese Krafthysteresen 154, 156 bzw. diese Magnetkraftcharakteristiken 158, 160

sind wenigstens teilweise innerhalb des nicht dargestellten Regelbereichs bzw. der nicht dargestellten Regelbereiche angeordnet. Die Hysteresen sind unterschiedlich. Beispielsweise ist die die Hysterese 156 größer als 1 N, während die Hysterese 154 kleiner als 1 N ist. Diese den Hysteresen entsprechenden Werte werden von einem Regler gelernt bzw. erfaßt. Zur Kompensation der Hysteresen erhöht bzw. vermindert der Regler den Magnetstrom auf die Spule 40.

Fig. 10 zeigt Magnetkennlinien eines erfindungsgemäßen Magnetventils 1. Diese Darstellung, in der die Magnetkraft F über dem Ankerhub s aufgetragen ist, zeigt drei Magnetkennlinien 162, 164, 166. Die entsprechenden Kurven sind teilweise im, hier durch die Lage des Doppelpfeil 168 symbolisierten, Ankerhubbereich 168 angeordnet, der durch die erste, hier durch die Linie 170 angedeutete, Endposition und die zweite, hier durch die Linie 172 angedeutete, Endposition begrenzt wird. Der im Ankerhubbereich 168 wirksame Teil der Federkennlinie 173 der nicht dargestellten Feder 46 wird durch den ersten Federkennpunkt 174 sowie den zweiten Federkennpunkt 176 begrenzt. Die Magnetkennlinie 162 weist im Ankerhubbereich 168 einen Bereich 178 starken Kraftanstiegs auf. Zur Verstellung des Ankers 42 in die durch die Linie 170 angedeutete erste Endposition wird der Anker 42 im wesentlichen gemäß einer Magnetkennlinie 162 mit oberhalb des ersten Federkennpunkts 174 liegenden Kraftwerten gesteuert. Entsprechend wird der Anker 42 zur Verstellung in die durch die Linie 172 angedeutete zweite Endposition im wesentlichen gemäß einer Magnetkennlinie 166 mit unterhalb des zweiten Federkennpunkts 176 liegenden Kraftwerten gesteuert. Zur Ankerverstellung in die Mittelposition bzw. zum Halten des Ankers 42 in der Mittelposition wird der Anker 42 gemäß wenigstens einer Magnetkennlinie 164 im Regelbereich 182 geregelt. Diese von einem Regler durchgeführte Regelung erfolgt bevorzugt gemäß einer bekannten Charakteristik bzw. Regelstrategie. So kann beispielsweise ein 3-Punkt-Regler mit Mittellagenadaptation oder ein vorausschauender Prädiktionsregler eingesetzt werden.

Fig. 11 zeigt den zeitlichen Verlauf verschiedener Systemgrößen eines Magnetventils 1 bei der Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. beim Betrieb eines erfindungsgemäßen Magnetventils 1. Die Graphen in den vier in Fig. 11 dargestellten Koordinatensystemen zeigen von oben nach unten betrachtet:

- den zeitlichen Verlauf des Ankerhub;
- den zeitlichen Verlauf der Magnetkraft;
- den zeitlichen Verlauf des Tastverhältnisses und
- den zeitlichen Verlauf des Ist- sowie Sollverstellwinkels einer Nockenwelle bzw. einer Nockenwellenverstelleinrichtung, die von einem Magnetventil angesteuert wird.

Die zeitlichen Bezüge sind jeweils identisch. Dem erfindungsgemäßen Verlauf ist jeweils der Verlauf der Größen in bekannten Magnetventilen gegenübergestellt. Die bekannten Kurven tragen die Bezugszeichen 184, 186, 188; die sich auf die Erfindung beziehenden Verläufe tragen die Bezugszeichen 190, 192, 194.

Bis zum Zeitpunkt t_1 befindet sich der Nockenwellen-Verstellerkolben in seiner geregelten Ausgangslage ϕ_1 . Diese Ausgangslage ϕ_1 wird durch das Bestromen einer Spule 40 mit einem bestimmten Strom gehalten, der, wie aus dem dritten Koordinatensystem erkennbar, durch Einstellen eines ersten, bestimmten Tastverhältnisses (TV1) eingestellt wird. Infolge dieses ersten Tastverhältnisses bzw. der ersten Stromcharakteristik wird ferner die auf den Anker 42 wirkende Magnetkraft auf einem Wert F_1 konstant gehalten, so

daß der Anker 42 in seiner Ausgangslage s, gehalten wird. Zum Zeitpunkt t, wird von einer Steuerung ein neuer Sollverstellwinkel für den Nockenwellen-Verstellerkolben vorgegeben. Diese angestrebte Verstellung wird durch die Einstellung eines neuen (erhöhten Tastverhältnisses oder Tastgrads TV2) bzw. durch Einstellung eines Stroms größerer Stromstärke eingeleitet, infolge der die Magnetkraft auf den Anker 42 im wesentlichen sprunghaft auf einen erhöhten Wert (F_2) ansteigt.

Nach Ablauf einer gewissen Totzeit (t_2-t_1) bewirkt diese erhöhte Magnetkraft (F_2) eine Verstellung des Ankerhubs, so daß sich dieser auf einen Wert s_2 einstellt. Der Ankerhub s_2 entspricht im wesentlichen der Ankerstellung, bei der der Anker 42 an seinem Anschlag bzw. an der Antiklebescheibe 96 anliegt, so daß die Beabstandung zwischen Anker 42 und zweiter Polfläche des Polkerns bzw. Polkern 44 minimal wird.

Bereits schon kurz vor Erreichen dieser Ankerstellung s_2 steigt die auf den Anker 42 wirkende Magnetkraft von dem Wert F_2 auf einen oberhalb von 1% liegenden Wert an. Dieses Ansteigen ist insbesondere durch die starke Annäherung des Ankers 42 an den Polkern 44 bedingt, also durch den verschobenen Ankerhub bzw. die verschobene Endstellung des Ankers 42. Diese starke Annäherung wird in bekannten Anordnungen bewußt vermieden. Zum Halten der Ankerstellung in der Position s_2 bis zum Zeitpunkt t_3 , bzw. über den Zeitpunkt t_3 hinaus, kann die Stromstärke bzw. das Tastverhältnis vermindert werden. Dieses ist hier in der Kurve 194 durch eine Absenkung des Tastverhältnisses vom Wert TV2 auf den Ausgangswert TV1 verdeutlicht. Trotzdem stellt sich die Magnetkraft, wie durch Kurve 192 verdeutlicht, auf eine oberhalb von F_2 liegenden Kraftwert ein. Es sei darauf hingewiesen, daß grundsätzlich gemäß der Erfindung die Bestromung bzw. das Tastverhältnis auch weiter abgesenkt werden kann, ohne daß der Anker 42 die Position s_2 verläßt. Gegenüber bekannten Anordnungen, in denen das Tastverhältnis bzw. die Stromstärke über den Zeitpunkt t_3 hinaus zum Halten in der Position s_2 auf dem Wert TV2 gehalten werden muß bzw. gehalten wird, besteht gemäß der Erfindung – wie der Vergleich der Kurven 192 und 186 zeigt – in der beispielhaften Darstellung der Fig. 11 ein Kraftüberschuß der ein weiteres Absenken des Tastverhältnisses bzw. der Stromstärke zuläßt.

Gemäß der Erfindung wird das Tastverhältnis zu einem Zeitpunkt t_4 auf einen Wert TV0 weiter abgesenkt, hier bis zum Zeitpunkt t_5 gehalten, und wieder auf den Ausgangswert (TV1) erhöht, auf dem es ab dem Zeitpunkt t_5 gehalten wird. Entsprechend pendelt sich der Ankerhub wieder in seiner Ausgangslage (s_1) ein. Die Magnetkraft sinkt knapp unter ihren Ausgangswert F_1 ab und pendelt sich dann auf diesem ein, wobei der Istverstellwinkel den Sollverstellwinkel annimmt.

Durch das Absenken des Tastverhältnisses auf TV wird ein unzulässig langes Verbleiben des Ankers 42 an oder in der Nähe der zweiten Polfläche infolge der Remanenz (Restmagnetismus) verhindert. Demgegenüber erfordert das entsprechende Halten der Ankerposition auf dem Wert s_2 in bekannten Anordnungen ein Halten des Tastverhältnisses auf dem hohen Wert TV2 bis zu Zeitpunkt t_6 , um die Magnetkraft bis zu diesem Zeitpunkt auf ihrem Wert F_2 zu halten und eine entsprechende Ankerverstellung bzw. Verstellwinkelverstellung zu erreichen. Erst zum Zeitpunkt t_6 wird in bekannten Anordnungen das Tastverhältnis auf den Wert TV1 abgesenkt.

Bezugszeichenliste

1 Magnetventil

DE 198 18 126 A 1

17

12 Magnetkraftcharakteristik eines bekannten Magneten
 14 Magnetkraftcharakteristik eines bekannten Magneten
 16 Doppelpfeil
 18 Sprung
 20 Sprung
 22 Sprung
 24 Sprung
 26 Krafthysterese
 28 Krafthysterese
 30 Federkennlinie
 32 Grenze
 34 Grenze
 36 Kennpunkt
 38 Kennpunkt
 40 Spule
 42 Anker
 44 Polkern
 46 Feder
 48 Stößel
 50 Hohlkolben
 52 Zylinder
 54 profilierte Außenoberfläche von 50
 56 erster Bereich von 50
 58 dritter Bereich von 50
 60 zweiter Bereich von 50
 62 vierter Bereich von 50
 64 Ende von 50
 66 innerer Kanal von 50
 68 Öffnung in 56
 70 Öffnung in 72
 72 fünfter Bereich von 50
 74 Bewandung von 52
 76 Außenoberfläche von 52
 78 Zylinderinneres von 52
 80 erste Öffnung in 74
 82 zweite Öffnung in 74
 84 dritte Öffnung in 74
 86 Zylinderinnenoberfläche
 88 Nut in 86
 90 Nut in 86
 92 vierte Öffnung in 52
 94 Stirnseite von 52
 96 Antiklebeschleibe
 98 Achse
 100 Fluidquelle
 102 Fluidauffangbehälter
 104 Kammer
 106 Kammer
 108 Hydraulikkolben
 110 Kurve
 112 Linie
 114 Teilkurve von 110
 116 Punkt
 118 Punkt
 119 Fläche
 120 Kurve
 122 Kurve
 124 Punkt
 126 Punkt
 128 Fläche
 130 Fläche
 132 Symbol für starken Kraftanstieg der Magnetkraftcharakteristik
 134 Strecke
 136 Kennlinie
 138 Kennlinie
 140 Kennlinie
 141 Magnetkraftmaximum

18

142 Regelbereich von 136
 144 Regelbereich von 138
 146 Kennlinienverlauf
 148 Kennlinienverlauf
 5 150 Kennlinienverlauf
 152 Regelbereich
 154 Krafthysterese
 156 Krafthysterese
 158 Magnetkraftcharakteristik
 10 160 Magnetkraftcharakteristik
 162 Magnetkennlinie
 164 Magnetkennlinie
 166 Magnetkennlinie
 168 Doppelpfeil
 15 170 Linie
 172 Linie
 173 Federkennlinie
 174 Federkennpunkt
 176 Federkennpunkt
 20 178 Bereich starken Kraftanstiegs
 180 Bereich starken Kraftanstiegs
 182 Regelbereich
 184 bekannte Kurve
 186 bekannte Kurve
 25 188 bekannte Kurve
 190 auf die Erfindung bezogener Verlauf
 192 auf die Erfindung bezogener Verlauf
 194 auf die Erfindung bezogener Verlauf

30 Patentansprüche

1. Magnetventil zur Schaltung wenigstens zweier verschiedener Schaltzustände, welches insbesondere zur Verwendung in einer Brennkraftmaschine geeignet ist, mit
 35 mit
 – einer Spuleneinrichtung (40) zur wenigstens zeitweisen Aufnahme eines Magnetstroms;
 – einer Steuereinrichtung zur Steuerung des zeitlichen Verlaufs der Größe und/oder der Orientierung des Magnetstroms in der Spuleneinrichtung (40); wenigstens einem relativ zur Spuleneinrichtung (40) in Richtung einer Achse beweglich gelagerten, magnetisierbaren Anker (42), der wenigstens zeitweise in einem Magnetfeld der stromdurchflossenen Spuleneinrichtung (40) angeordnet ist und wenigstens eine erste Polfläche mit einer senkrecht zur Achse ausgerichteten Komponente aufweist;
 40 – wenigstens einem relativ zur Spuleneinrichtung (40) fest gelagerten, wenigstens teilweise magnetisierbaren Polkern (44), der wenigstens zeitweise und/oder teilweise in einem Magnetfeld der stromdurchflossenen Spuleneinrichtung (40) angeordnet ist und wenigstens eine zweite Polfläche mit einer senkrecht zur Achse ausgerichteten Komponente aufweist, welche in Achsrichtung der ersten Polfläche zugewandt ist;
 45 – wenigstens einer Hubbegrenzung zur Begrenzung der minimalen Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche auf einen Minimalwert von vorzugsweise kleiner als 0,7 mm, wobei dieser Minimalwert derart gewählt ist, daß ein Magnetkraftanstieg im Bereich geringen Abstandes nutzbar ist, und wobei dieser minimalen Beabstandung zwischen dem Anker (42) und dem Polkern (44) ein erster Ventilschaltzustand entspricht;
 50 – einer Federeinrichtung (46) zur wenigstens zeitweisen Erzeugung einer vektoriellen Rück-

DE 198 18 126 A 1

19

- stellkraft auf den Anker (42), wobei diese Rückstellkraft im ersten Ventilschaltzustand eine im wesentlichen von der zweiten auf die erste Polfläche orientierte Kraftkomponente in Richtung der Achse aufweist.
2. Magnetventil nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Minimalwert größer als Null ist.
 3. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnetkraftcharakteristik im Ankerhubbereich (168) wenigstens einen im wesentlichen sprunghaften Anstieg aufweist, wobei
 - die Magnetkraftcharakteristik ein relationaler oder funktionaler Zusammenhang zwischen der Ankerstellung und der während und/oder infolge der Bestromung der Spuleneinrichtung (40) mit einem konstanten Strom auf den Anker (42) ausgeübten Magnetkraft ist; und der Ankerhubbereich (168) die Strecke in Richtung der Achse ist, die von einem Referenzpunkt des Ankers (42) durchlaufen wird, wenn der Anker (42) zwischen seinen Extrempositionen verschoben wird.
 4. Magnetventil nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der sprunghafte Anstieg der Magnetkraftcharakteristik an einer Stelle im Ankerhubbereich (168) angeordnet ist, die näher an der Ankerstellung gelegen ist, bei der die Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche minimal ist, als an der Ankerstellung, bei der die Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche maximal ist, wobei der Verlauf der Magnetkraftcharakteristik zwischen dem sprunghaften Anstieg der Ankerstellung, bei der die Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche minimal ist, im wesentlichen streng monoton steigend ist.
 5. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von dem Anker (42) wenigstens drei Ankerpositionen annehmbar sind, wobei jede dieser Ankerpositionen einem Ventilschaltzustand entspricht.
 6. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Anker (42) mit einer in einem Zylinder (52) geführten Kolbeneinrichtung gekoppelt ist, von der verschiedene mit den Ankerpositionen korrespondierende Kolbeneinrichtungsschaltpositionen in Achsrichtung des Zylinders (52) annehmbar sind, wobei die Bewandung des Zylinders (52) wenigstens zwei Öffnungen zur Aufnahme jeweils einer Hydraulikleitung aufweist und wobei in verschiedenen Kolbeneinrichtungsschaltpositionen verschiedene Strömungsverbindungen zwischen den Hydraulikleitungen von der Kolbeneinrichtung erzeugt und/oder unterbrochen werden.
 7. Magnetventil nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch wenigstens vier Öffnungen zur jeweiligen Aufnahme einer Hydraulikleitung.
 8. Magnetventil nach einem der Ansprüche 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine der Öffnungen in einer dem Anker (42) abgewandten Stirnfläche des Zylinders (52) angeordnet ist und die verbleibenden Öffnungen in der Mantelfläche des Zylinders (52) angeordnet sind.
 9. Magnetventil nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß von der Kolbeneinrichtung drei Kolbeneinrichtungsschaltpositionen annehmbar sind, wobei
 - in einer ersten Kolbeneinrichtungsschaltposition eine Strömungsverbindung zwischen einer ersten und einer vierten Strömungsleitung sowie

20

- eine Strömungsverbindung zwischen einer zweiten und einer dritten Strömungsleitung freigeschaltet ist, wobei die verbleibenden Strömungsverbindungen unterbrochen sind;
- in einer zweiten Kolbeneinrichtungsschaltposition eine Strömungsverbindung zwischen der ersten Strömungsleitung und der zweiten Strömungsleitung sowie eine Strömungsverbindung zwischen der dritten Strömungsleitung und der vierten Strömungsleitung freigeschaltet ist, wobei die verbleibenden Strömungsverbindungen unterbrochen sind; und
 - in einer dritten Kolbeneinrichtungsschaltposition alle Strömungsverbindungen unterbrochen sind.
10. Magnetventil nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbeneinrichtung ein Kolben mit profilierter Außenoberfläche ist, wobei die Außenoberfläche Profilerhöhungen mit wenigstens einem ersten Außendurchmesser und Profilvertiefungen mit wenigstens einem zweiten Außendurchmesser aufweist, der kleiner als der erste Außendurchmesser ist.
 11. Magnetventil nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbeneinrichtung wenigstens teilweise als Hohlkolbeneinrichtung (50) ausgebildet ist und an wenigstens zwei unterschiedlichen Positionen entlang der Kolbenachse jeweils wenigstens eine Öffnung in der Bewandung der Hohlkolbeneinrichtung (50) aufweist, wobei diese Öffnungen in einer Stirnseite und/oder in der Mantelfläche der Hohlkolbeneinrichtung (50) angeordnet sind.
 12. Magnetventil nach einem der Ansprüche 6 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kolbeneinrichtung und der Anker (42) über einen Stößel (48) gekoppelt sind, der den Polkern (44) verschieblich durchstößt und der Anker (42) und der Polkern (44) jeweils wenigstens teilweise von einer gemeinsamen, durchgehenden Spule (40) konzentrisch umhüllt sind.
 13. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spuleneinrichtung (40) weniger als 540, vorzugsweise weniger als 460 Stromwindungen aufweist.
 14. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Außendurchmesser/Längen-Verhältnis der Spule (40) und/oder des Ventilmagneten 25 mm/45 mm beträgt.
 15. Magnetventil nach einem der Ansprüche 5 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß
 - der Anker (42) eine erste der Ankerpositionen, die erste Endposition, annimmt, wenn die Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche innerhalb des Ankerhubbereichs (168) minimal ist;
 - der Anker (42) eine zweite der Ankerpositionen, die zweite Endposition, annimmt, wenn die Beabstandung zwischen erster und zweiter Polfläche innerhalb des Ankerhubbereichs (168) maximal ist; und
 - eine dritte Ankerpositionen, vorzugsweise die Mittelposition, zwischen der ersten Endposition und der zweiten Endposition angeordnet ist.
 16. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung einen Signalgeber aufweist, von dem
 - die Spuleneinrichtung (40) mit einem Strom gemäß einer ersten Stromcharakteristik zur Verstellung des Ankers (42) in die erste Endposition

DE 198 18 126 A 1

21

versorgbar ist, wobei mit der ersten Stromcharakteristik eine erste Magnetkraftcharakteristik korrespondiert, deren Kraftwerte im Ankerhubbereich (168) größer als der Kraftwert eines ersten Federkennpunkts (174) sind;
– die Spuleneinrichtung (40) mit einem Strom gemäß einer zweiten Stromcharakteristik zur Verstellung des Ankers (42) in die zweite Endposition versorgbar ist, wobei mit der zweiten Stromcharakteristik eine zweite Magnetkraftcharakteristik korrespondiert, deren Kraftwerte im Ankerhubbereich (168) kleiner als der Kraftwert eines zweiten Federkennpunkts (176) sind; und
– die Spuleneinrichtung (40) mit einem Strom gemäß wenigstens einer dritten, geregelten Stromcharakteristik zur Verstellung des Ankers (42) in die Mittelposition versorgbar ist, wobei mit der dritten Stromcharakteristik wenigstens eine dritte Magnetkraftcharakteristik korrespondiert, die innerhalb eines dieser Magnetkraftcharakteristik zugeordneten Regelintervalls einen Kraftwert aufweist, der den in der Mittelposition vorliegenden Federrückstellkraft-Wert kompensiert; wobei
– der erste Federkennpunkt (174) der Punkt der Federcharakteristik (Federkennlinie (173)) ist, der die von der Federeinrichtung (46) auf den Anker (42) in der ersten Endposition ausgeübte Kraft charakterisiert;
– der zweite Federkennpunkt (176) der Punkt der Federcharakteristik (Federkennlinie (173)) ist, der die von der Federeinrichtung (46) auf den Anker (42) in der zweiten Endposition ausgeübte Kraft charakterisiert; und
– das Regelintervall eine bestimmte Strecke innerhalb des Ankerhubbereichs (168) ist.

17. Magnetventil nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Stromcharakteristik einen konstanten Strom von 2 Ampere vorgibt, die zweite Stromcharakteristik einen konstanten Strom von 0,2 Ampere vorgibt und die dritte, geregelte Stromcharakteristik eine Stromwertabfolge von zwischen 0,9 und 1,3 Ampere liegenden Strömen gemäß einer Regelcharakteristik vorgibt.

18. Magnetventil nach einem der Ansprüche 16 und 17, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Stromcharakteristik einen konstanten, den Magneten übererregenden Strom zur Reduzierung der Totzeit vorgibt, wobei die Totzeit die während des Steilvorgangs zwischen zwei unterschiedlichen Ventilschaltzuständen verstrichene Zeit ist.

19. Magnetventil nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß mit der dritten Stromcharakteristik wenigstens eine stetige dritte Magnetkraftcharakteristik korrespondiert, deren Steigung innerhalb des dritten Magnetkraftcharakteristik zugeordneten Regelintervalls wenigstens teilweise betragsmäßig größer als 0,2 N/mm, vorzugsweise größer als 0,5 N/mm, vorzugsweise größer als 1,5 N/mm ist.

20. Magnetventil nach einem der Ansprüche 16 bis 19, gekennzeichnet durch eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung der Abhängigkeit zwischen wenigstens einer dritten Stromcharakteristik und der dieser zugeordneten dritten Magnetkraftcharakteristik.

21. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die von dem Anker (42) im Bereich des Regelbereichs durchlaufbare Krafthysterese größer als 0,5 N, vorzugsweise größer als 1 N, vorzugsweise größer als 2 N ist.

22

22. Magnetventil nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung eine Reglereinrichtung zur Erfassung des und/oder der Werte der Krafthysterese im Regelbereich und zur Kompensation dieser Werte durch Nachregelung der durch die dritte Charakteristik vorgegebenen Stromwerte aufweist.

23. Magnetventil nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine Strombegrenzungseinrichtung zur Vermeidung einer thermischen Überbelastung, wobei von der Strombegrenzungseinrichtung wenigstens ein Maximalwert für den der Spuleneinrichtung (40) zuführbaren Strom gemäß einer vorgegebenen Maximalstromcharakteristik vorgebar ist.

24. Vorrichtung zur Steuerung der Drehwinkelverstellung einer Nockenwelle, welche aus einem über ein Zugmittel mit einer Kurbelwelle in Antriebsverbindung stehenden kurbelwellenfesten Bauteil und aus einem drehfest mit der Nockenwelle verbundenen nokkenwellenfesten Bauteil besteht, wobei zwischen beiden Bauteilen mindestens ein mit einer Druckmittelquelle verbundener Druckraum vorgesehen sowie ein hydraulisch betätigbares Stellelement angeordnet ist, über welches eine Kraftübertragungsverbindung von dem kurbelwellenfesten Bauteil zu dem nokkenwellenfesten Bauteil erfolgt und durch welches beide Bauteile innerhalb eines Stellbereiches gegeneinander verdreh- und/oder fixierbar sind, wobei das Stellelement mindestens zwei Stirnflächen aufweist, von denen wenigstens eine mit einem Hydraulikfluid beaufschlagbar ist, das über eine Hydraulikleitungseinrichtung zu- und/oder abführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß innerhalb der Hydraulikleitungseinrichtung eine Magnetventileinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23 zur Steuerung der Hydraulikfluidzu- und/oder -abführung angeordnet ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Stirnflächen des Stellelementes jeweils mit einem Hydraulikfluid zur Verdrehung des nokkenwellenfesten Bauteils gegenüber dem kurbelwellenfesten Bauteil beaufschlagbar sind, wobei zur Hydraulikfluidversorgung pro Stirnfläche eine Hydraulikleitungseinrichtung vorgesehen ist, die jeweils an die Magnetventileinrichtung angeschlossen sind.

26. Verfahren zum Steuern der Schaltzustände einer Magnetventilvorrichtung mit wenigstens zwei Ventilschaltzuständen, welche
– eine Spuleneinrichtung (40) zur wenigstens zeitweisen Aufnahme wenigstens eines Magnetstroms;
– wenigstens eine Magnetstrom-Steuereinrichtung zur Steuerung des zeitlichen Verlaufs der Größe und/oder der Orientierung des Magnetstroms in der Spuleneinrichtung (40);
– wenigstens einen relativ zur Spuleneinrichtung (40) beweglich gelagerten Anker (42), der wenigstens zeitweise in einem Magnetfeld der stromdurchflossenen Spuleneinrichtung (40) angeordnet ist, so daß von der magnetstromdurchflossenen Spuleneinrichtung (40) eine Kraft auf den Anker (42) aufbringbar ist;
aufweist, gekennzeichnet durch die Schritte:
– Bestromen einer Spuleneinrichtung (40) gemäß einer ersten Stromcharakteristik zur Erzeugung einer elektromagnetischen Kraft auf einen Anker (42) und wenigstens zeitweiser Betankung eines Kraft- und/oder Energiespeichers, wobei sich der

DE 198 18 126 A 1

23

- Anker (42) unter Einwirkung der Kraft eine relativ zur Spuleneinrichtung (40) in Richtung einer ersten Ventilposition wenigstens zeitweise gegen eine Rückstellkraft bewegt und wobei in der ersten Ventilposition eine vorbestimmte oder vorbestimmbare erste Rückstellkraft der Ankerbewegung entgegenwirkt;
- Bestromen einer Spuleneinrichtung (40) gemäß einer zweiten Stromcharakteristik zur Erzeugung einer auf den Anker (42) wirkenden ersten Kraft unter wenigstens zeitweisem gleichzeitigen Abrufen einer zweiten Kraft aus dem Kraft- und oder Energiespeicher, wobei die vektorielle Summe der ersten und der zweiten Kraft der Rückstellkraft entgegen wirkt und betragsmäßig größer oder gleich der Rückstellkraft ist, wobei der Anker (42) in seiner Position gehalten wird oder weiter gegen die Rückstellkraft bewegt wird und wobei das Energie- und/oder das Leistungsniveau der zweiten Stromcharakteristik geringer als das der ersten Stromcharakteristik ist.
27. Verfahren nach Anspruch 26, gekennzeichnet durch die Schritte:
- Bestromen der Spuleneinrichtung (40) gemäß einer dritten Stromcharakteristik nach dem Bestromen gemäß der zweiten Stromcharakteristik für eine bestimmte Zeit; und
 - Bestromen der Spuleneinrichtung (40) gemäß einer vierten Stromcharakteristik nach dem Bestromen gemäß der dritten Stromcharakteristik für eine bestimmte Zeit; wobei das Energie und/oder Leistungsniveau der dritten Stromcharakteristik kleiner als das der zweiten Stromcharakteristik ist und wobei das Energie- und/oder Leistungsniveau der vierten Stromcharakteristik höher als das der dritten Stromcharakteristik ist.
28. Verfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite Stromcharakteristik im wesentlichen der vierten Stromcharakteristik entspricht.
29. Verfahren zur Steuerung eines Magnetventils mit einer Spuleneinrichtung (40), einem Anker (42) und einem Hydraulikteil zum Verstellen des Drehwinkels einer Nockenwelle gekennzeichnet durch die Schritte:
- Aufbringen eines Stroms gemäß einer ersten Stromcharakteristik für eine erste Zeitperiode zum Halten des Ankers (42) in einer Ausgangslage gegen eine Gegenkraft, wobei die Ausgangslage des Ankers (42) einer ersten Ventilstellung des Hydraulikteils entspricht;
 - Aufbringen eines Stroms gemäß einer zweiten Stromcharakteristik für eine zweite Zeitperiode zum Verstellen des Ankers (42) in eine zweite Position gegen eine wachsende Gegenkraft, die in der zweiten Position ihren Maximalwert erreicht, wobei die zweite Position des Ankers (42) einer zweiten Ventilstellung des Hydraulikteils entspricht;
 - Aufbringen eines Stroms gemäß einer dritten Stromcharakteristik für eine dritte Zeitperiode zum Halten des Ankers (42) in der zweiten Position gegen die Gegenkraft;
 - Aufbringen eines Stroms gemäß einer vierten Stromcharakteristik für eine vierte Zeitperiode zum Verstellen des Ankers (42) aus der zweiten Position in Richtung der Ausgangslage, wobei die resultierende Kraft aus der Gegenkraft und einer wenigstens teilweise infolge der vierten Stromcharakteristik auf den Anker (42) ausgeübten Ma-

24

- gnetkraft in Richtung der Ausgangslage gerichtet ist;
- Aufbringen eines Stroms gemäß einer fünften Stromcharakteristik für eine fünfte Zeitperiode zum Halten des Ankers (42) in einer fünften Position.
30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Energie- und/oder Leistungsniveau der ersten und der dritten Stromcharakteristik geringer als das der zweiten Stromcharakteristik ist; und/oder das Energie- und/oder Leistungsniveau der fünften und der dritten Stromcharakteristik höher als das der vierten Stromcharakteristik ist.
31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder die dritte und/oder die fünfte Stromcharakteristik das gleiche Tastverhältnis und/oder die gleiche Stromstärke aufweisen.
32. Verfahren zum Ansteuern und/oder Halten einer Mittelstellung eines Magnetventils mit einem Anker (42), wobei
- der Anker (42) zwischen zwei Extrempositionen verschiebbar ist und die Mittelstellung eine zwischen diesen Extrempositionen angeordnete Position ist; und
 - die Mittelstellung innerhalb eines Regelbereichs angeordnet ist und wobei der Ventilmagnet im Regelbereich eine Hysterese aufweist;
- gekennzeichnet durch den Schritt:
- Verändern der auf eine Spule aufgebrachten Stromstärke zur wenigstens teilweisen Kompensation der Hysterese.
33. Verfahren zum Ansteuern und/oder Halten einer Mittelstellung eines Magnetventils mit einem Anker (42), wobei
- der Anker (42) zwischen zwei Extrempositionen verschiebbar ist und die Mittelstellung einer zwischen diesen Extrempositionen angeordneten Position des Ankers (42) entspricht;
 - die Mittelposition innerhalb eines Regelbereichs angeordnet ist; und
 - der Ventilmagnet innerhalb des Regelbereichs eine Magnetkraft-Stellweg-Abhängigkeit mit beliebiger Steigung aufweist,
- gekennzeichnet durch den Schritt:
- Variieren der auf eine Spule aufgebrachten Stromstärke zum Einstellen und/oder Halten der Mittelstellung.
34. Verfahren zum Ansteuern und/oder Halten einer Mittelstellung eines Magnetventils mit einem Anker (42), wobei
- der Anker (42) zwischen zwei Extrempositionen verschiebbar ist und die Mittelstellung einer zwischen diesen Extrempositionen angeordneten Position des Ankers (42) entspricht;
 - die Mittelstellung innerhalb eines Regelbereichs angeordnet ist;
 - der Ventilmagnet einer Magnetkennlinie folgt; und
 - die relative Lage des vom Regelbereich begrenzten Teils des Regelbereichs zu einem ersten Kennfeldpunkt, der einer Kraft in einer Endstellung des Ankers (42) im Verstellbereich des Ankers (42) entspricht, wenigstens zeitweise unbekannt ist,
- gekennzeichnet durch den Schritt:
- Adaptieren der Lage des im Regelbereich ange-

26

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

65

- Leerseite -

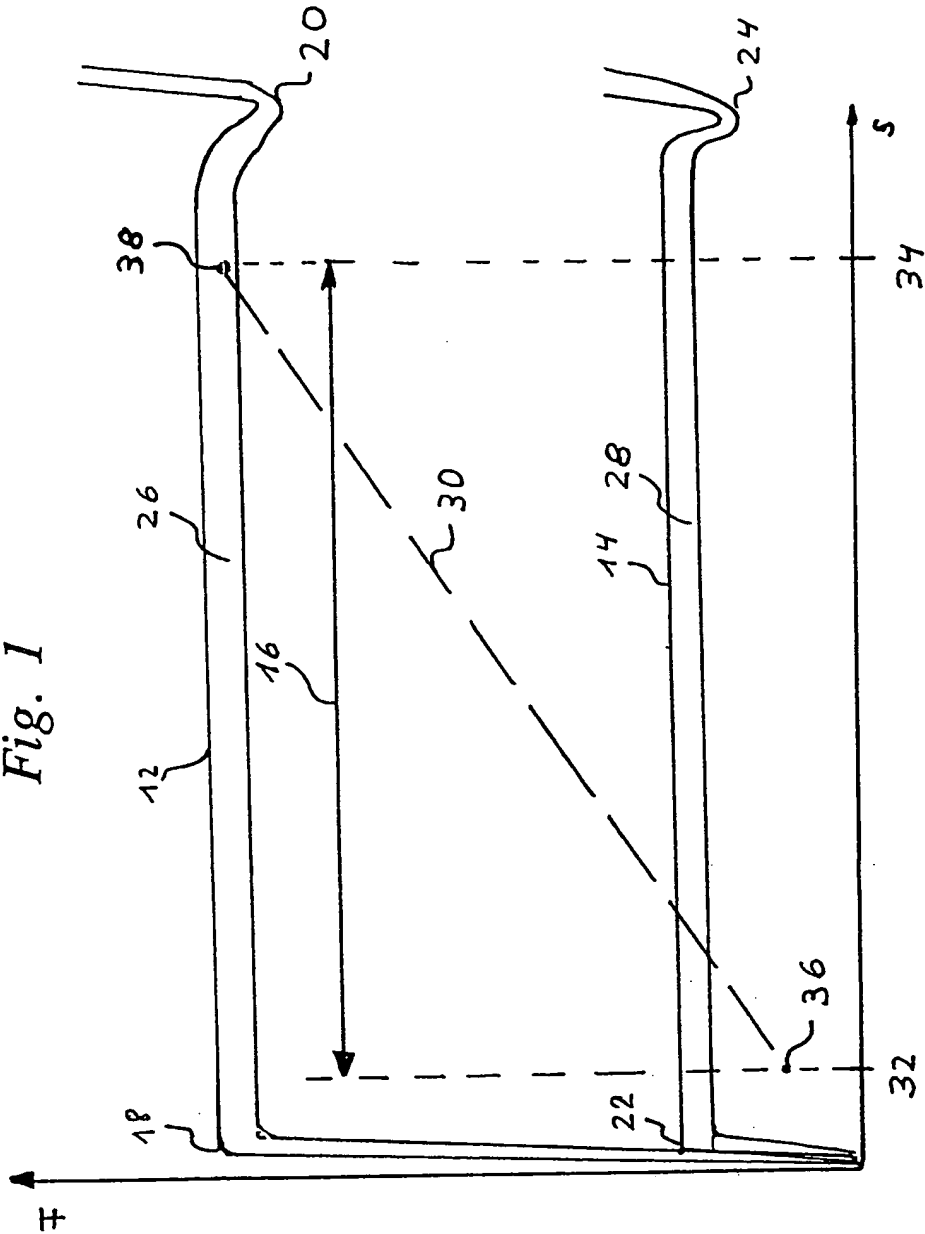


Fig. 5

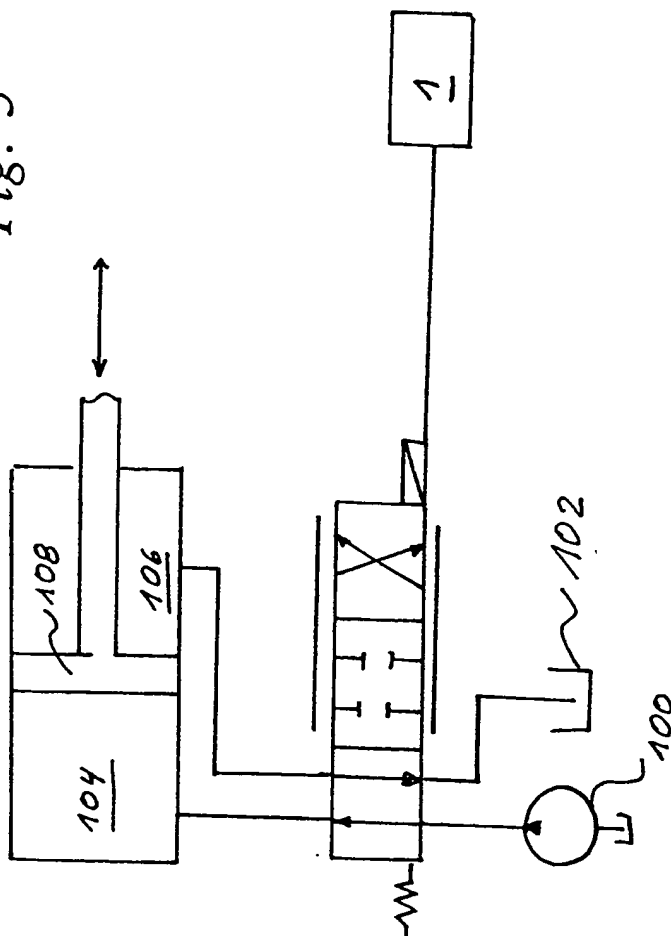


Fig. 6

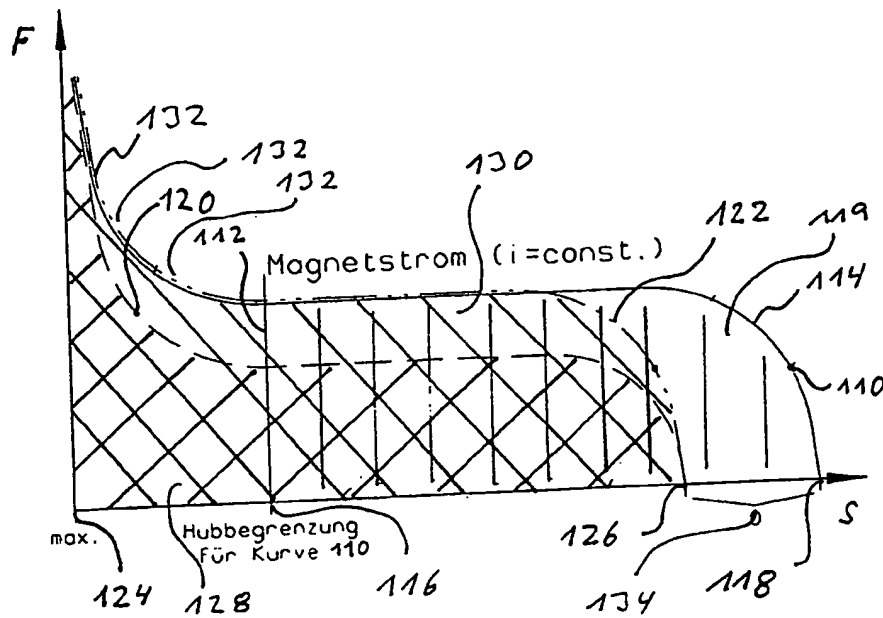
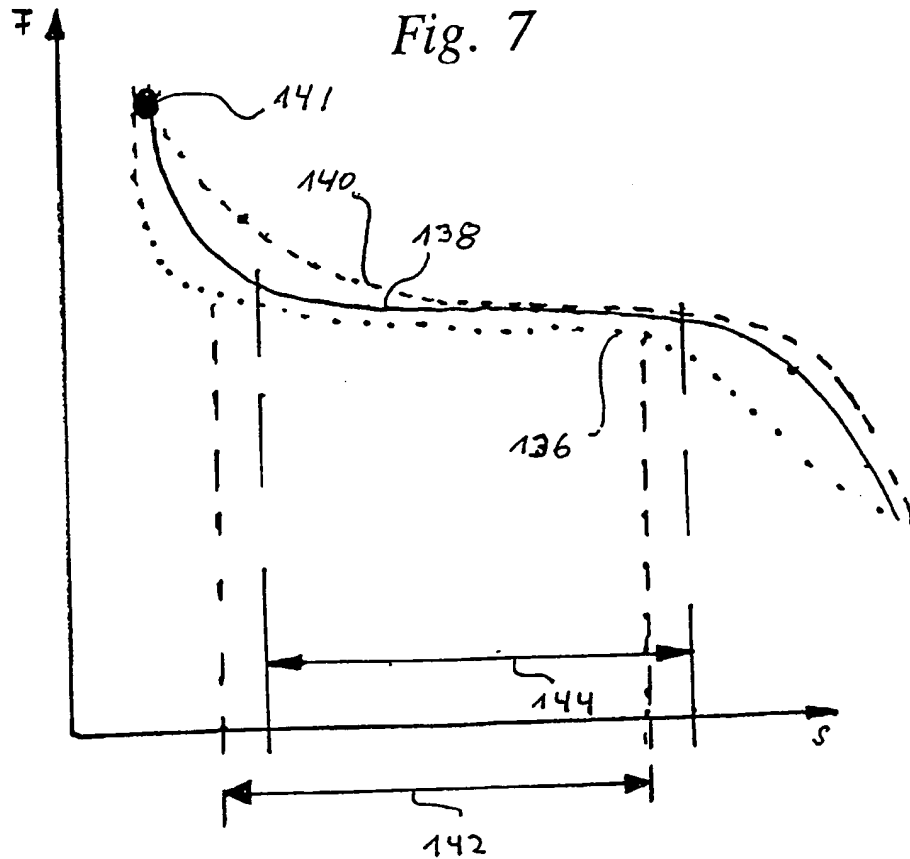


Fig. 7



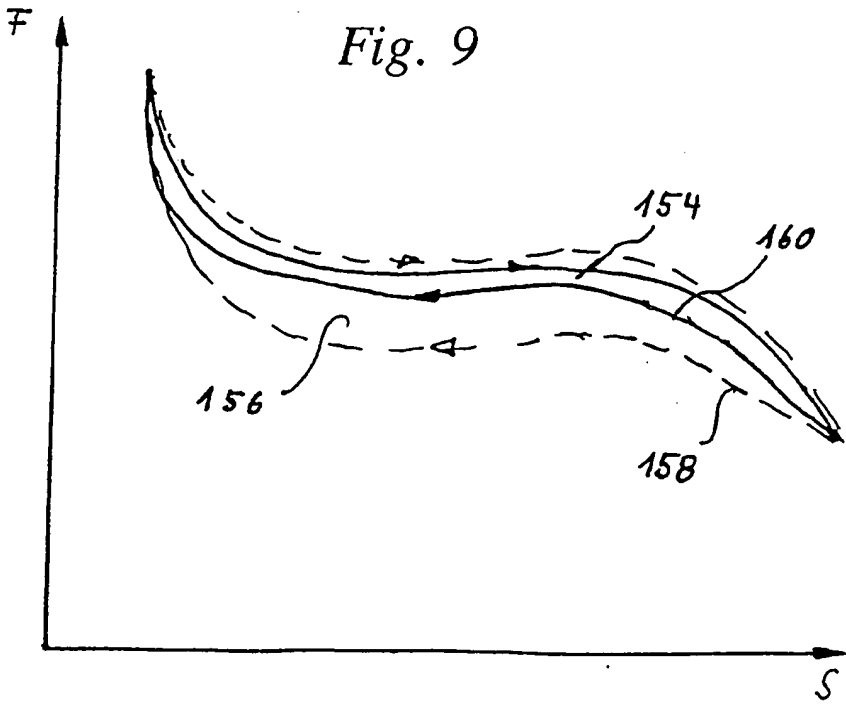
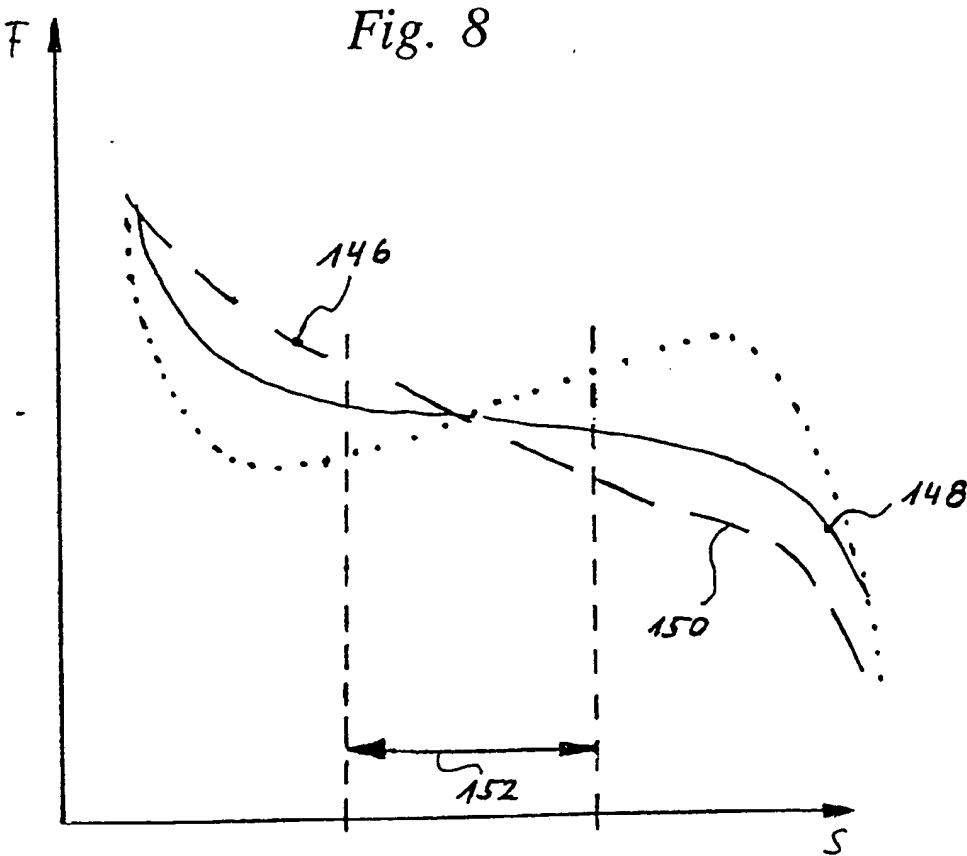
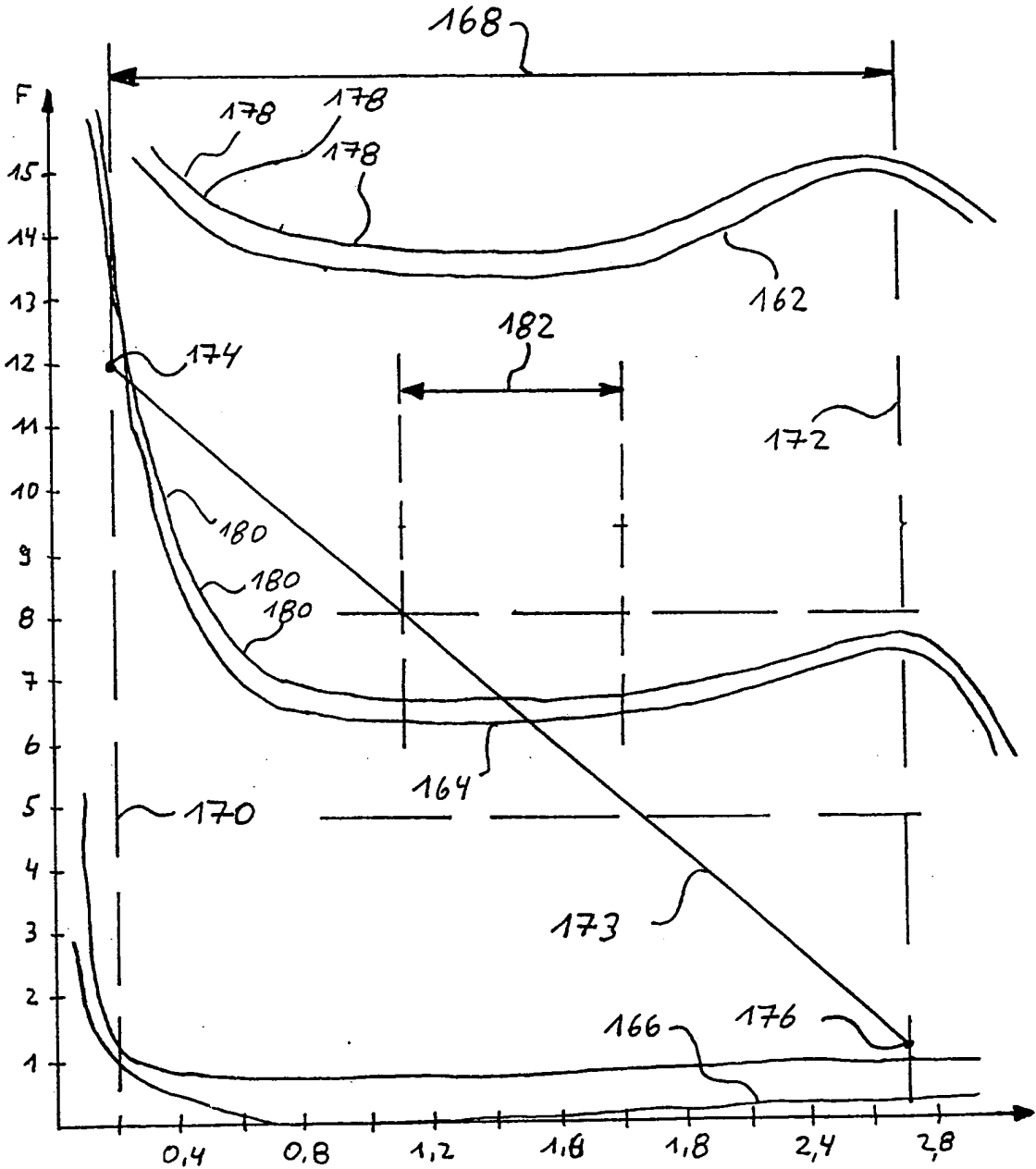


Fig. 10



ZEICHNUNGEN SEITE 7

Nummer:
Int. Cl. 6:
Offenlegungstag:

DE 198 18 126 A1
F 16 K 31/06
28. Oktober 1999

Fig. 11

